

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

**MARKO ANDRIĆ**

**KOMPARACIJA OTISAKA OTISNUTIH  
STANDARDNIM I  
VISOKOPIGMENTIRANIM  
ELEKTROFOTOGRAFSKIM TONEROM**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2014



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

**MARKO ANDRIĆ**

**KOMPARACIJA OTISAKA OTISNUTIH  
STANDARDNIM I  
VISOKOPIGMENTIRANIM  
ELEKTROFOTOGRAFSKIM TONEROM**

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

doc. dr. sc. Igor Majnarić

Student:

Marko Andrić

Zagreb, 2014

## **SAŽETAK**

Jedan od faktora koji utječe na kvalitetu otisaka u elektrofotografskom tisku je izbor tonera. Toner temeljen na emulzijskoj agregaciji (EA) više nije dovoljan te se pokazala potreba za izradu novih kolorno izraženijih poliesterskih tonera. U ovom diplomskom radu analizirati će se otisci otisnuti na tri najčešće tiskovne podloge (sjajno premazani, mat premazani i nepremazani papir) sa dva elektrofotografska stroja istog proizvođača, ali sa različitim tonerom. Pritom će se njihovo kompariranje temeljiti na kolorimetrijskoj metodi koja će pokazati njihove tonske razlike. Usredotočiti ćemo se samo na one tonove koji su direktno povezani sa sastavom tonera (magenta i cijan). Rezultati pokazuju da će najbolju kolornu reprodukciju dati elektrofotografski stroj Minolta C70hc sa visokokromatičnim (HC) tonerom na sjajno premazanom papiru, a najlošiju elektrofotografski stroj Minolta C6000 sa klasičnim EA tonerom na nepremazanom mat papiru. Tiskovna podloga će značajno utjecati na reprodukciju slike pri čemu se ostvaruje razlika od  $\Delta V = 504705$ .

**Ključne riječi:** elektrofotografija, praškasti EA toner, HC toner

## **ABSTRACT**

One of the factors that affects the quality of the prints in electrophotographic printing is a variety of toner. Emulsion aggregation (EA) based toner is no longer sufficient, and there is a need to create new more vivid color polyester toner. This study will analyze prints made on three most common printing surface (glossy, matte coated and uncoated paper) with two electrophotographic machine of the same manufacturer, but with a different toners. This will include their comparisons based on the colorimetric method that will show their tonal differences. We will focus only on those tones that are directly attributable to the composition of the toner (magenta and cyan). The results show that the best color reproduction gives electrophotographic machine Minolta C70hc with highchroma (HC) toner on glossy paper, and the worst electrophotographic machine Minolta C6000 with conventional EA toner on uncoated matt paper. Printing surface will significantly affect the image reproduction while achieving the distinction of  $\Delta V = 504705$ .

**Keywords:** electrophotography, powdered EA toner, HC toner



# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. Digitalni tisak .....	2
2.2. Povijest elektrofotografije .....	4
2.3. Osnovni princip rada elektrofotografskih strojeva .....	5
2.3.1. Nabijanje fotokonduktora .....	7
2.3.2. Osvjetljavanje .....	9
2.3.3. Obojavanje fotoreceptora .....	12
2.3.4. Prijenos tonera.....	14
2.3.5. Fiksiranje tonera (fuziranje) .....	15
2.3.6. Čišćenje fotoreceptora .....	17
2.4. Konstrukcije elektrofotografskih strojeva .....	19
2.4.1. Minolta C6000 elektrofotografski stroj .....	23
2.5. Toneri za Minoltine elektrofotografske strojeve.....	28
2.6. Boja .....	31
2.6.1. Psihofizičke i fizikalne karakteristike boja .....	31
2.6.2. Prostori boja.....	32
2.6.3. Razlika obojenja .....	33
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	38
3.1. Metodologija rada.....	38
3.2. Korišteni uređaji i materijali .....	41
3.2.1. Epson SureLab D3000 .....	41
3.2.2. Minolta C6000.....	41
3.2.3. Minolta C70hc.....	42
3.2.4. X-Rite DTP20 Pulse spektrofotometar.....	43
3.2.5. X-Rite DTP41 AutoScan spektrofotometar .....	43
3.2.6. Papir za umjetnički tisak .....	44
3.2.7. Premazani papir za digitalni tisak .....	45
3.2.8. Nepremazani papir za digitalni tisak .....	45

4. REZULTATI I RASPRAVA.....	46
4.1. Usporedba gamuta.....	46
4.2. Usporedba kolorimetrijskih vrijednosti.....	52
5. ZAKLJUČAK .....	64
6. LITERURA .....	66

## 1. UVOD

Svakim danom broj komunikacijskih kanala raste pri čemu se ostvaruju mogućnosti sve većeg protoka informacija. Uz to može se uočiti da sa porastom količine informacija raste i njihova različitost. Ovakav trend pravodobne dostave informacija mora biti omogućen u procesu grafičke proizvodnje.

Sa potrebom za sve većom brzinom protoka informacija, analogno tome raste potreba za digitalnim tiskom. Kada je riječ o potrebi za brzom dostavom informacija u tisku tada je elektrofotografija zasigurno najznačajniji predstavnik. Samim time elektrofotografski strojevi imaju brzu i kvalitetnu proizvodnju u malim i srednjim nakladama. Također, mogućnost tiska promjenjivog (personaliziranog) sadržaja na različite tiskovne podloge pruža sve veću atraktivnost te time potvrđuje opravdanost za sa sve većom uporabom elektrofotografskog tiska. Međutim, osim brzine otiskivanja zahtjeva se i sve veća kvaliteta otisaka. Pritom se koriste nove generacije tonera kojima se pokušava približiti kolornom gamutu koji postižu računala (ekranski prikaz). Veći prostorni gamut se nastoji postići kako bi se u radnom procesu smanjila, ili potpuno izbjegla, dodatna grafička priprema odnosno izbjeglo probno otiskivanje u tehnici Ink Jet-a.

Cilj ovog diplomskog rada utvrditi je kako svijetlije pigmentirane boje (visoka pigmentacija magente i cijana) komponente procesnih bojila utječu na kolornu reprodukciju u tehnici elektrofotografije odnosno koliku razliku pružaju u odnosu na standardni toner. Samim time cilj je i ustanoviti optimalne parametre Minoltinih elektrofotografskih tiskarskih strojeva kako bi se postigli što ujednačeniji otisci bez obzira na tip tiskovne podloge. Pri komparaciji očekuje se da će se standardnim denzitometrijskim i kolorimetrijskim metodama uspješno odrediti svi tonovi su najproblematičniji pri realizaciji visokokvalitetnih otisaka (formiranje maksimalnog kolornog gamuta, ujednačenosti punih tonova, ujednačenosti rastertonских vrijednosti), te pronaći mogućnost njihove korekcije.

## **2. TEORIJSKI DIO**

### **2.1. Digitalni tisak**

Da bi se formirao otisak, i u digitalnom i u klasičnom tisku, potrebno je prethodno generirati tiskovnu formu. Digitalna tiskovna forma puno je složenija te se može napraviti na više načina. Ovisno o načinu izrade tiskovne forme u digitalnom tisku razlikujemo dva koncepta otiskivanja. To je onaj sa promjenjivom tiskovnom formom („Computer to Print“) i onaj koji se temelji na fiksnoj tiskovnoj formi („Computer to Press“). [1]

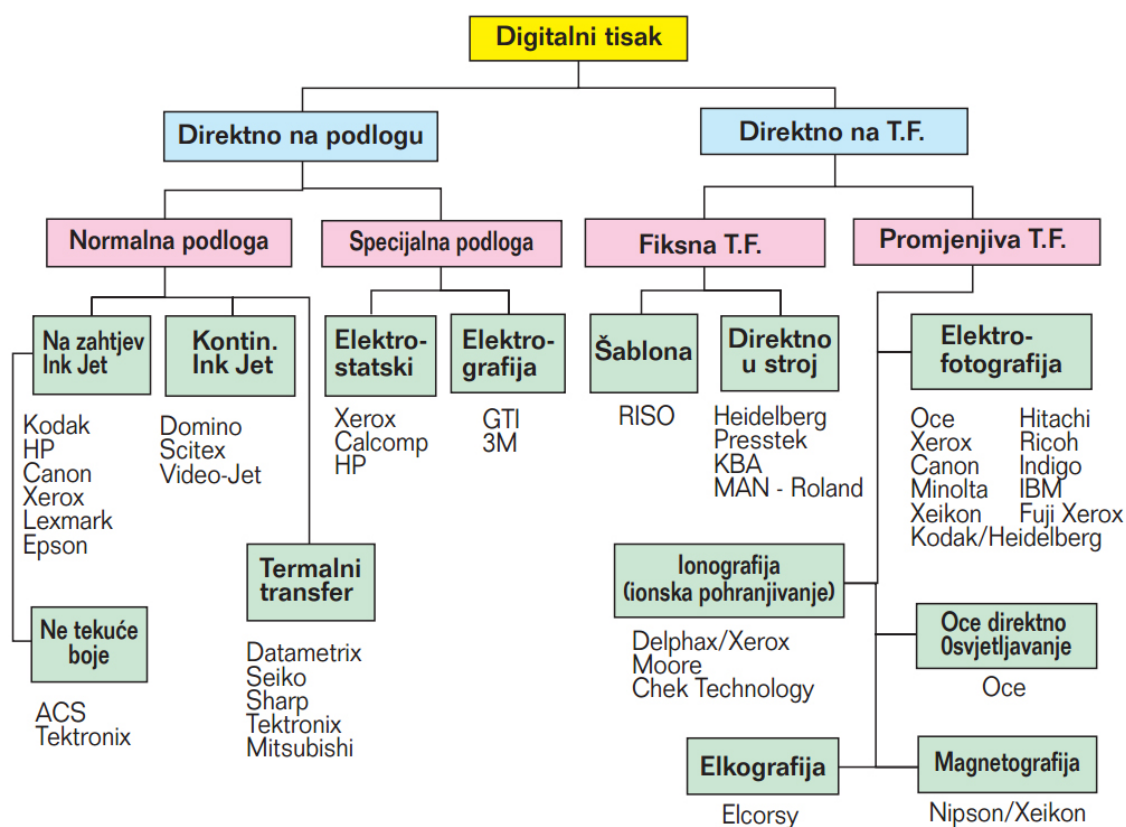
Princip otiskivanja sa promjenjivom tiskovnom formom naziva se još NIP („non-impact printing“) digitalni tisak. Dakle riječ je o beskontaktnom otiskivanju koje u zoni otiskivanja ima vrlo malu silu pritiska. Tiskovna forma je potpuno virtualna te se za vrijeme otiskivanja nalazi se u neznatnom ili nikakvom međusobnom kontaktu s tiskovnom podlogom. Takva virtualna NIP tiskovna forma sadrži tiskovne elemente i slobodne površine koje se razlikuju u energetske potencijalu te na sebe prihvata bojila suprotnog energetskog potencijala. Tiskovni elementi na formi tako postaju vidljivi pa time i spremni za otiskivanje. Takva tiskovna forma se generira prilikom svakog novog prolaska tiskovne podloge kroz stroj što omogućava isplativo otiskivanje i jedne kopije. [2]

Po načinu otiskivanja tehnike „Computer to Print“ digitalnog tiska možemo podijeliti na dvije skupine. To su one koje ne zahtijevaju nikakvu tiskovnu formu (direktno se nanaša bojilo na podlogu) i one koje otiskuju pomoću virtualnih poluvodičkih tiskovnih formi. Od sistema bez tiskovnih formi najčešće se misli na Ink Jet tehnologiji otiskivanja. U slučaju tog sistema se bojilo iz spremnika nanosi direktno na tiskovnu podlogu bez ikakvog posrednika, odnosno sićušne kapljice formirati će rasterske elemente u skladu sa električnim impulsom poslanog iz računala. [1]

S druge strane digitalni tiskarski strojevi bazirani na fiksnoj tiskovnoj formi („Computer to Press“) puno su sličniji konvencionalnom načinu otiskivanja.

Pritom su zadržane sve komponente klasične tiskarske jedinice, te se razlika očituje u dodatnom uređaju za automatsko osvjetljavanje tiskovne forme gdje jednom generirana tiskovna forma ostaje fiksna do završetka otiskivanja.

Priprema takvog stroja i izrada tiskovnih formi izvršava se u samom tiskarskom stroju. S obzirom na generiranje promjenjive tiskovne forme vrijeme generiranja fiksne tiskovne forme je znatno duže (15 min). [2] Za ovakav način otiskivanja posebno se dobro pokazao litografski ofset čije tiskarske jedinice postižu visoku kvalitetu reprodukcije i veliku izdržljivost tiskovne forme. Na slici 1. shematski su prikazane sve važnije tehnike digitalnog tiska zajedno sa proizvođačima koji ih razvijaju.



*Slika 1. Osnovna podjela tehnika digitalnog tiska (Izvor: I. Majnarić, Digitalni tisak principom praškaste elektrografije i njegova primjena u grafičkoj industriji, predavanje, 2007.)*

## 2.2. Povijest elektrofotografije

Od svih NIP digitalnih tehnika tiska u najvećoj uporabi su elektrofotografija i Ink Jet. Elektrofotografiju je 1938. godine patentirao američki fizičar Chester Charlson, otisnuvši pritom prvu fotokopiju. [3] Jedanaest godina kasnije (1949. godine) tvrtka Harold (današnji Xerox) otkupljuje patent i nastavlja sa istraživanjem što 1959. godine rezultira proizvodnjom prvog potpuno automatiziranog elektrofotografskog stroja za umnažanje dokumenata (fotokopirka). [4]



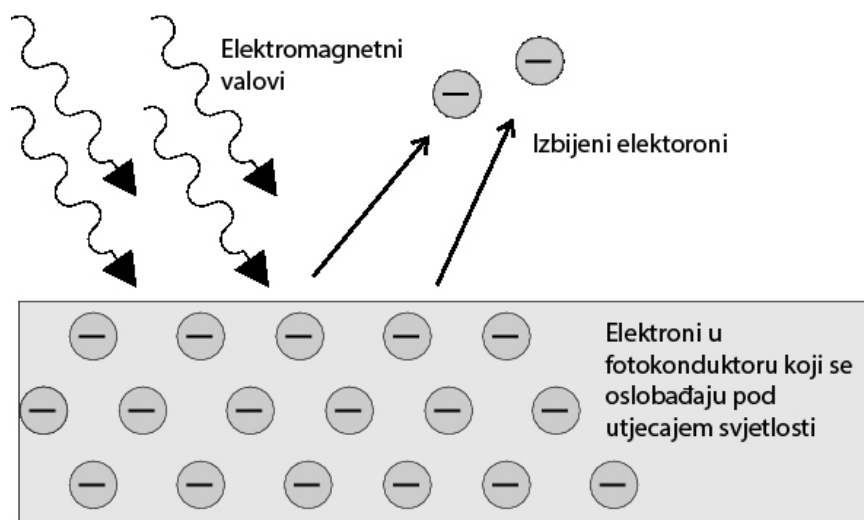
*Slika 2. Fotografija prvog automatiziranog elektrofotografskog fotokopirnog stroja tvrtke Xerox (Izvor: <http://media-3.web.britannica.com/eb-media/88/144288-004-DF505E4E.jpg>)*

Daljnijim razvojem poluvodičkih materijala u elektrofotografiji je integrirano računalo i laser za osvjetljavanje čime je otvorena mogućnost jeftine izrade uredskih pisača. Od prvog izuma pa sve do 1995.godine elektrofotografija se koristiti samo u stolnom izdavaštvu zbog malog formata. Međutim, tvrtke HP, Xerox, OCE i Kodak na tržište plasiraju i višebojne i visokoproduktivne

elektrofotografske strojeve čime započinje njihova implementacija u samu grafičku industriju. [4] Takvi uređaji prvo se koriste u grafičkoj industriji za tisak manje zahtjevnih probnih otisaka, koji su prerasli u tisak manjih naklada.

### 2.3. Osnovni princip rada elektrofotografskih strojeva

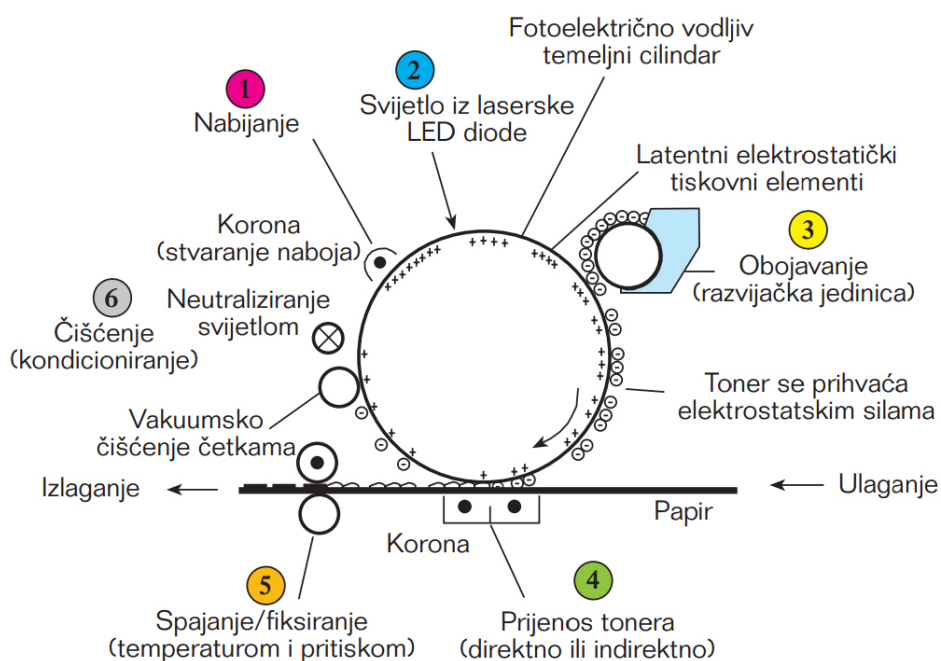
Elektrofotografija se temelji na fizikalnoj pojavi fotoelektričnog efekta koji nastaje na fotovodljivom materijalu = fotokonduktoru. Uslijed osvjetljavanja poluvodičkih površina dolazi do oslobađanja elektrona iz vanjske ljuske atoma što dovodi do promjene električnog potencijala na fotokonduktoru. Time se ujedno formira virtualna tiskovna forma koja se nakon svakog otiskivanja nanovo izrađuje. Takva tiskovna forma sadrži dvije vrste površina: tiskovne elemente i slobodne površine. Njihova razlika očituje se u energetske potencijalima gdje su pozitivnije nabijene površine tiskovni elementi dok su negativnije nabijene površine slobodne površine. Da bi tiskovna forma postaje vidljiva i pogodna za otiskivanje negativno nabijeni toner se nanosi na tiskovne elemente.



*Slika 3. Fotoelektrični efekt = Oslobađanje elektrona na fotokonduktoru (Izvor: [http://cnx.org/content/m39551/1.1/Photoelectric\\_effect.png](http://cnx.org/content/m39551/1.1/Photoelectric_effect.png))*

Da bi se na papiru formirao konačan otisak gore opisani postupak nije dovoljan. Samim time tijekom rada elektrofotografskog stroja potrebo je izvršiti 6 kronološki uvjetovanih faza. To su:

1. Nabijanje fotokonduktorskog bubnja
2. Osvjetljavanje fotokonduktorskog bubnja (kreiranje virtualne tiskovne forme)
3. Obojavanje virtualne tiskovne forme (nanašanje tonera)
4. Prijenos tonera (sa fotokonduktora na tiskovnu podlogu)
5. Fiksiranje tonera (na tiskovnoj podlozi)
6. Čišćenje fotokonduktora od ostatka tonera [4]



*Slika 4. Osnovne faze rada u elektrofotografiji (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*

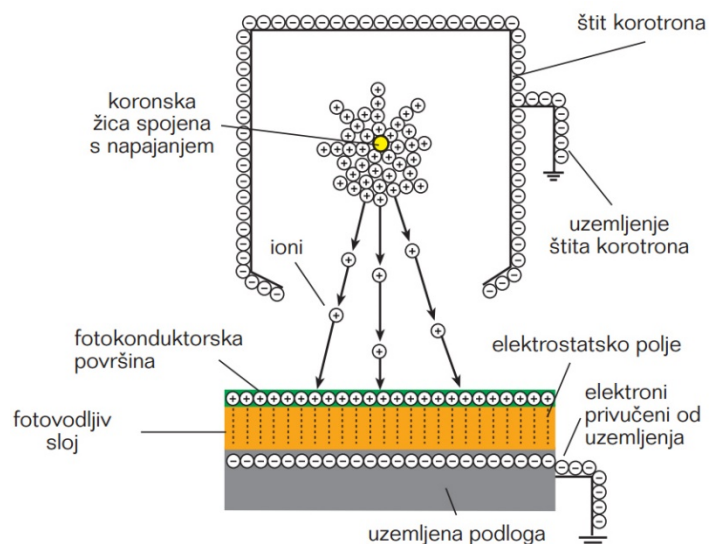
U slučaju indirektnog otiskivanja ovakvom procesu se dodaje još jedna faza (drugi prijenos tonera), odnosno sa fotoreceptora toner će se prvo prenijeti na prijenosni medij (remen ili cilindar) sa kojeg se dalje prenosi na tiskovnu podlogu.



### 2.3.1. Nabijanje fotokonduktora

Kako bi započeo elektrofotografski proces potrebno je stvaranje kontroliranog električnog potencijala na cijeloj fotokonduktorskoj površini. Pri stvaranju tog električnog potencijala bitan je sastav fotokonduktora, debljina vodljivog fotokonduktorskog sloja, dielektrička konstanta fotoreceptorskog sloja te emitirani površinski naboj sa jedinice za nabijanje. Takav nastali površinski potencijal fotokonduktora mora biti proporcionalan naboju stvorenom na koronskoj žici. [4]

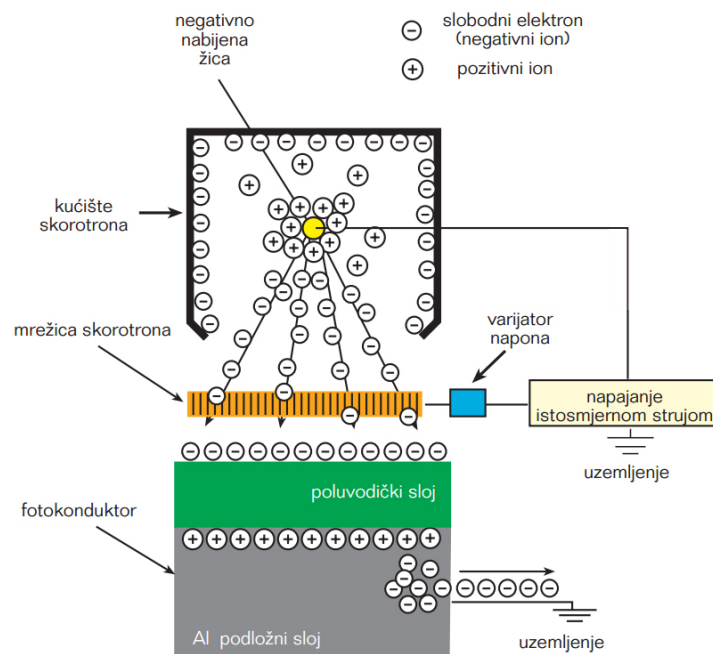
Pozitivsko nabijanje vrlo je često u elektrofotografiji te je kao takvo pronašlo primjenu u uredskim fotokopirnim strojevima, laserskim printerima za stolno izdavaštvo i njihovim kombinacijama. Kod takvog nabijanja fotokonduktorski bubanj se izlaže pozitivno nabijenim ionima kojima se generira pozitivno nabijena površina. Pri pozitivskom nabijanju fotokonduktorski bubanj rotira konstantnom brzinom, pri čemu se izlaže djelovanju korotrona. Korotron se sastoji od uzemljenog kućišta i korotronske žice, koja je direktno spojena s napajanjem. Kada se napajanje korotronske žice uključi, čestice pozitivnog naboja se usmjeravaju prema negativnijem kućištu, gdje prolazeći kroz otvor dolaze na površinu bubnja. [4]



*Slika 5. Shematski prikaz principa pozitivskog nabijanja (korotromom) (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*

Negativsko nabijanje će na površini fotokonduktora stvoriti negativno nabijene nosioce. Negativsko nabijanje koristiti se u elektrofotografskim strojevima koji rade indirektnim načinom otiskivanja odnosno toner će se sa pozitivske slike prenijeti na prijenosni medij (negativ) sa kojeg se transferira na papir (pozitiv).

U tom slučaju površinski sloj fotokonduktora (koji se negativski nabija) premazan je s organskim fotopoluvodičem („Organic Photo Conductor“) koji ima nizak početni otpor, koji se laserskim osvjetljavanjem lagano povećava. Uređaji korišteni za negativsko nabijanje nazivaju se skorotroni. Skorotronska konstrukcija je vrlo slična korotronske konstrukciji, međutim, razlika je u skorotronske mrežici koja se nalazi na otvorenoj strani kućišta. Kod negativnskog nabijanja kućište skorotrona je slobodno, što se ne može reći za skorotronske žice i skorotronske mrežice jer su one su direktno spojene s napajanjem. U početnoj fazi negativnskog nabijanja, uređaj za napajanje formira visoki negativan napon na skorotronske žice. Rezultat toga je emisija velikog broj elektrona koji formiraju 3 elektrostatska polja: skorotronske žice - kućište skorotrona, skorotronske žice - skorotronske mrežice i skorotronske mrežice – fotokonduktorske površine. [4]



*Slika 6. Shematski prikaz principa negativskog nabijanja (skorotronom) (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*

### 2.3.2. Osvjetljavanje

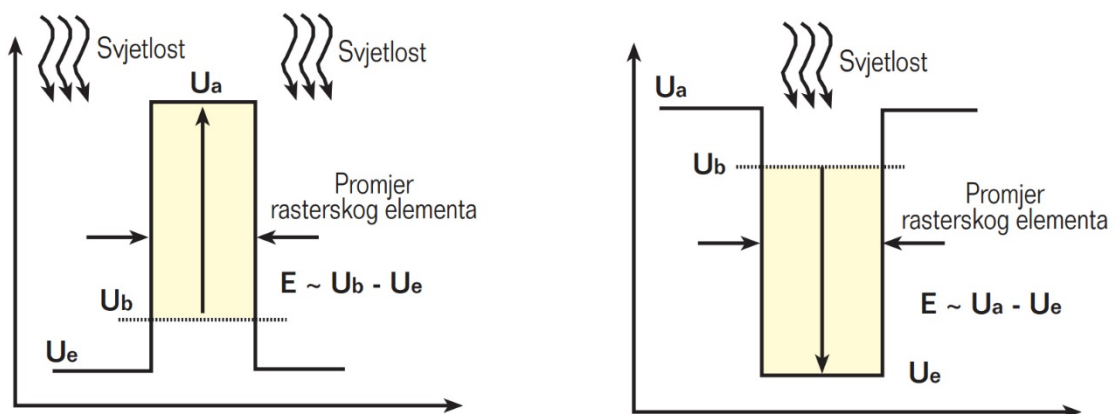
Osvjetljavanje je proces u kojem se originalni dokument projicira na fotokonduktor. U slučaju elektrofotografskih pisača proces osvjetljavanja izvodi se laserima koji se aktiviraju prijenosom digitalnih signala. Pri osvjetljavanju naponi na fotokonduktoru se mijenjaju. Ovisno o prethodno izvršenom nabijanju fotokonduktorske površine, razlikujemo negativsko osvjetljavanje CAD („Charged Area Development“) i pozitivsko nabijanje DAD („Discharged Area Development“). [4] Razlika ovih nabijanja prikazana je na slici 7.

$E$  = električno polje

$U_e$  = potencijal neutralizacije

$U_a$  = potencijal nastao nabijanjem

$U_b$  = potencijal nastao osvjetljavanjem



*Slika 7. Formiranje virtualne tiskovne forme: a) negativskim osvjetljavanjem i b) pozitivskim osvjetljavanjem (Izvor: I. Majnarić, Digitalni tisak principom praškaste elektrofotografije i njegova primjena u grafičkoj industriji, predavanje, 2007.)*

U slučaju negativskog osvjetljavanja ukupna svjetlosna izloženost fotokonduktorske površine je velika. Kod takvih elektrofotografskih strojeva

neosvijetljene površine su budući tiskovni elementi te se ne mogu nijansirati, što pogoduje reprodukciji jednostavnijih grafičkih rješenja.

Kada se kod pozitivskog osvjetljavanja tiskovni elementi izlažu svjetlosti, tada je moguće različitim elektrostatskim potencijalom postići različiti nanos bojila. To u konačnici rezultira različitom gustoćom obojenja tiskovnih elemenata. Također, takvi tiskovni elementi su puno manji te se njime postiže dobra razlučivost, a time i bolja reprodukcija. [4]

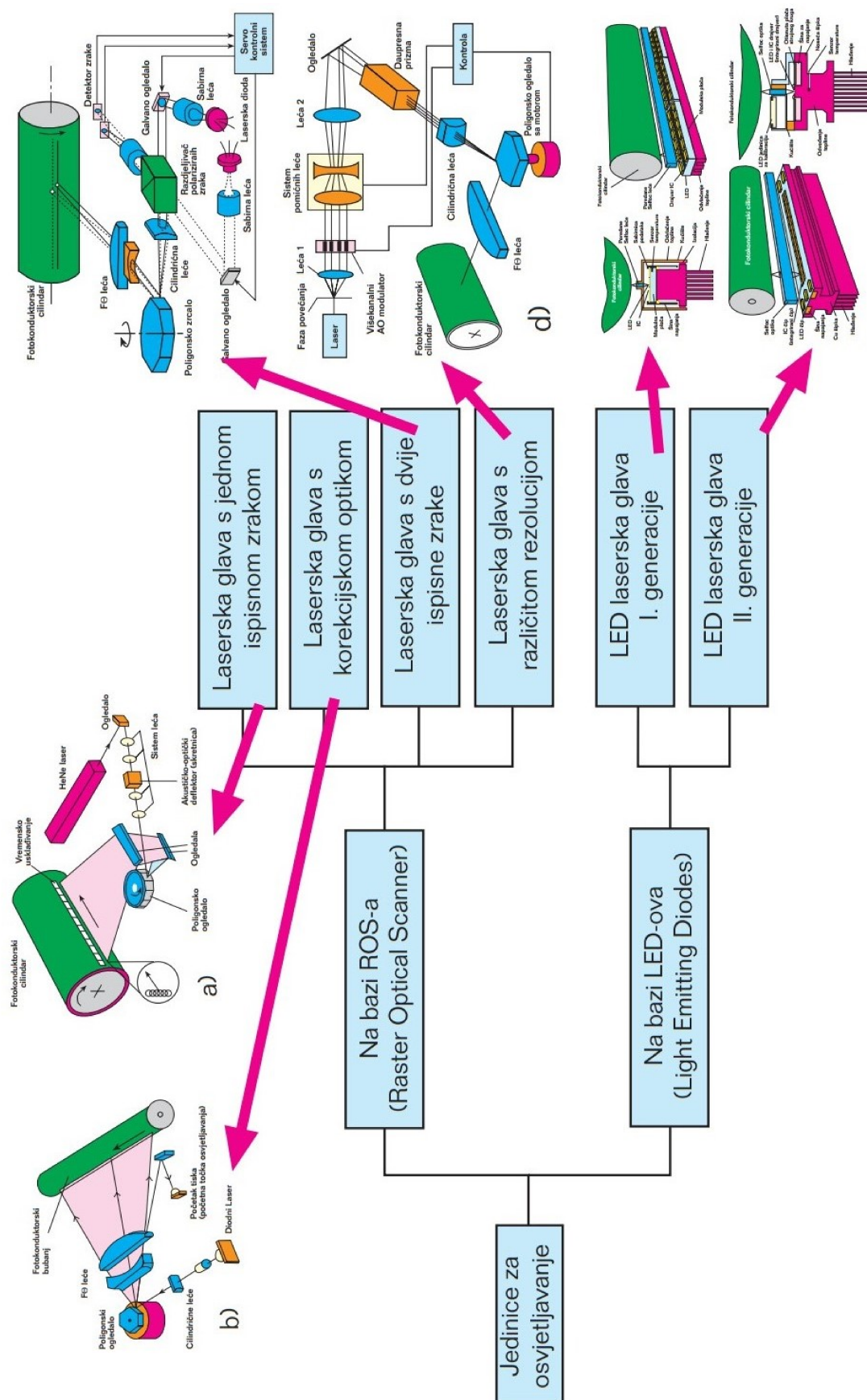
Ovisno o primijenjenoj tehnologiji koja se koristi u fazi svjetlosne neutralizacije razlikuju se dva tipa elektrofotografskih uređaja za osvjetljavanje. To su uređaji koji rade na bazi rasterskih optičkih skenera (ROS = „Raster Optical Scanners“) i na bazi svjetlo emitirajućih dioda (LED = „Light Emitting Diodes“). [4]

U početku ROS princip osvjetljavanja primjenjuje plinski laserski izvor, koji se spaja na akustičko optički modulator. Plinske laserske izvore kasnije su zamijenili poluvodički laseri (laserske diode) koje je moguće direktno modulirati. ROS tehnologija primjenjiva je u konstrukciji manje kvalitetnih stolnih laserskih printera. Sa povećanjem produktivnosti mijenja se i konstrukcija ROS ispisnih glava. Danas tako razlikujemo: laserske glave s jednom ispisnom zrakom, laserske glave s korekcijskom optikom, laserske glave s dvije ispisne zrake i laserske glave s različitom rezolucijom ispisivanja.

Suvremeni tipovi jedinca za osvjetljavanje bazirani su na LED tehnologiji. Ugrađeni LED svjetlosni izvori vrlo su sitni, i odgovara svojom pozicijom točno veličini budućih tiskovnih elemenata. Ovisno o načinu spajanja u linijske blokove razlikujemo:

- LED laserske glave prve generacije
- LED laserske glave druge generacije.

Broj poredanih LED blokova može biti vrlo velik (dužine 50 cm), što omogućuje ispis i većih formata. [4]



Slika 8. Podjela jedinica za osvjetljavanje sa pripadajućim shematskim prikazom (Izvor: I.

Majnarić, Digitalni tisak principom praškaste elektrofotografije i njegova primjena u

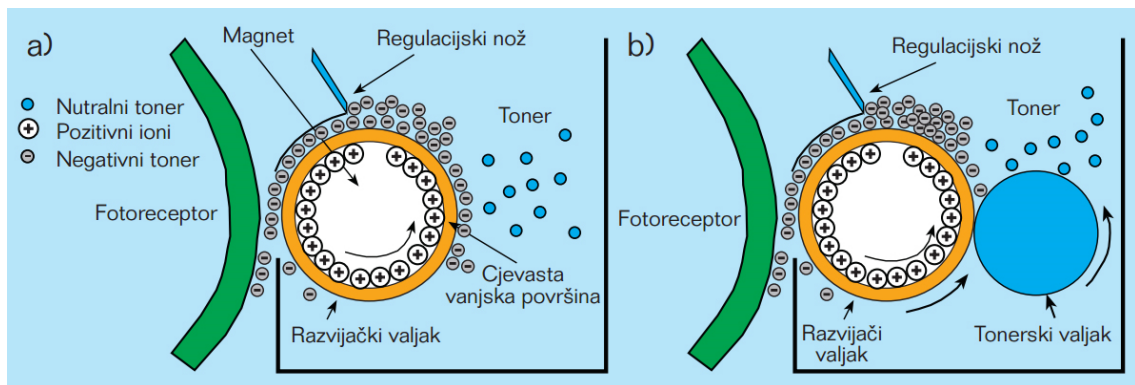
grafičkoj industriji, predavanje, 2007.)

### 2.3.3. Obojavanje fotoreceptora

Prilikom obojavanja koriste se specijalizirano obojeni materijali, koji su prilagođeni za prihvaćanje na fotoreceptor. U elektrofotografskom digitalnom tisku takve materijale nazivamo toneri. U elektrofotografiji drugi naziv za fazu obojavanje je razvijanje. [2] Osnovna zadaća procesa razvijanja je učiniti virtualnu tiskovnu formu vidljivom i pogodnom za otiskivanje.

Toneri su najčešće krutine praškastog oblika, ali mogu biti i tekućine. Samim time agregatnom stanju tonera prilagoditi će se i konstrukcija elektrofotografskih strojeva. Kod praškastih tonera razlikujemo jednokomponentne i dvokomponentne razvijačke sustave gdje je u oba sustava potrebno čestice tonera (nosioce tonera) prvo nabiti odgovarajućim nabojem kako bi se toner usmjereno kretao iz spremnika u smjeru latentne tiskovne forme. [4]

Jednokomponentne toneri sastoji se od poliesterske smole i magnetizirajućeg željeznog pigmenta te se na samom kraju proizvodnog procesa tonera izvodi premazivanje s električno provodljivim ugljikom. U procesu fuziranja termoplastična smola će se pri visokoj temperaturi brzo rastaliti da bi se hlađenjem skrutila. [4] Kontrolirano nanašanje tonera izvodi se magnetskim valjkom (slika 9). Osnovni principi razvijana valjkom prikazani su na slici 9.

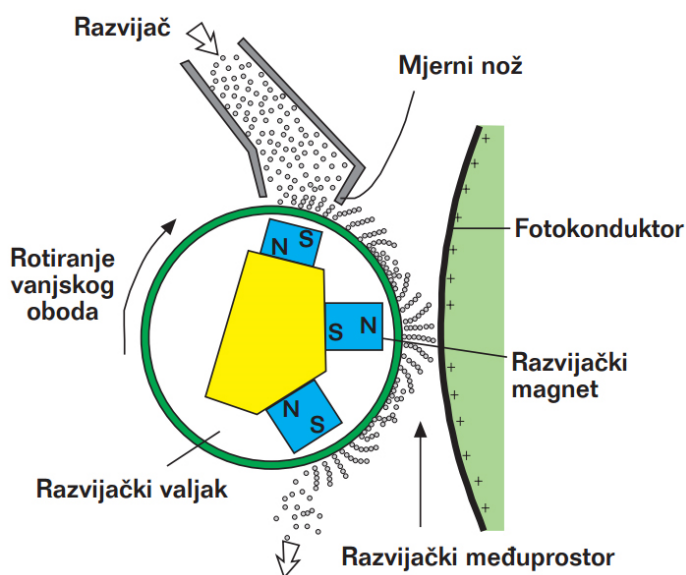


*Slika 9. Razvijanje jednokomponentnog tonera: a) razvijačka jedinica sa razvijačkim valjkom s permanentnim magnetom, b) razvijačka jedinica sa razvijačkim valjkom i tonerski valjak (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*



Dvokomponentni toner je smjesa dviju vrsta čestica: magnetskih nosećih čestica (razvijača) i obojenih tonerskih čestica. Za vrijeme trajanja razvijačkog procesa čestice tonera sudaraju se s nosiocima te se pri tom kontaktu (trenjem) stvara naboj na toneru. Dvokomponentno razvijanje tonera uglavnom se primjenjuje u visokoproduktivnim elektrofotografskim strojevima. Takvi strojevi posjeduju fotokonduktore koji u fazi nabijanja moraju imati površinski jednoličan naboj. Isto tako proces razvijanja dvokomponentnog tonera mnogo složeniji, i najčešće se koriste slijedeće tri konstrukcije:

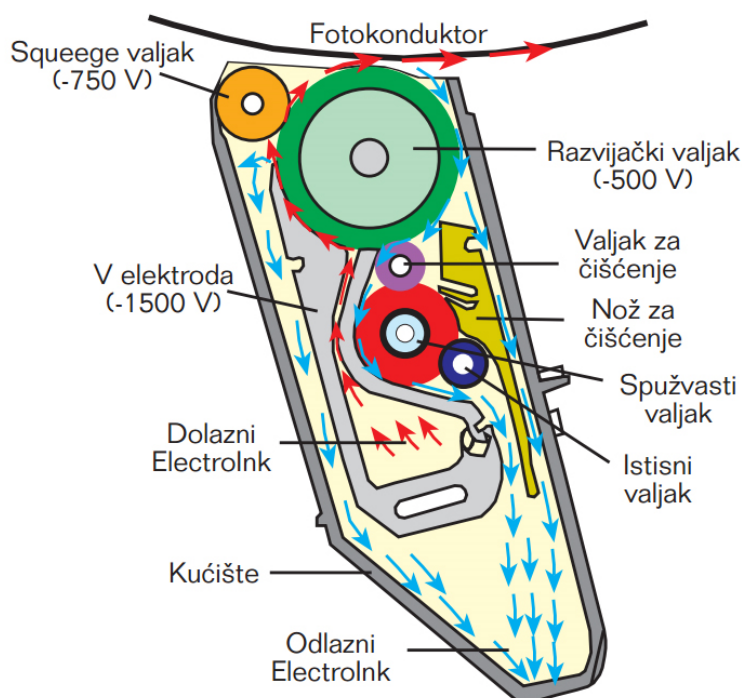
- a) Razvijanje magnetskom četkom
- b) Razvijanje s dva razvijačka valjka
- c) TriboJump jedinica za razvijanje [4]



*Slika 10. Razvijanje dvokomponentnog tonera magnetskom četkom (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*

U elektrofotografiji otiskivanje s tekućim tonerima mnogo je rjeđe. Tekući toner se sastoji od tekućeg nosioca u kojemu su raspršeni negativno nabijeni pigmenti. U fazi razvijanja potrebno je pigmentne čestice odvojiti od tekućeg nosioca pri čemu se koristi istisni („squeegee“) valjak. Djelovanjem istisnog valjka reducira

se ukupna količina tekućeg bojila na fotokonduktoru čime je stvoren vrlo tanki nanos na tiskovnim elementima. [4]



*Slika 11. Razvijanje i nanašanje tekućeg tonera (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, 2007.)*

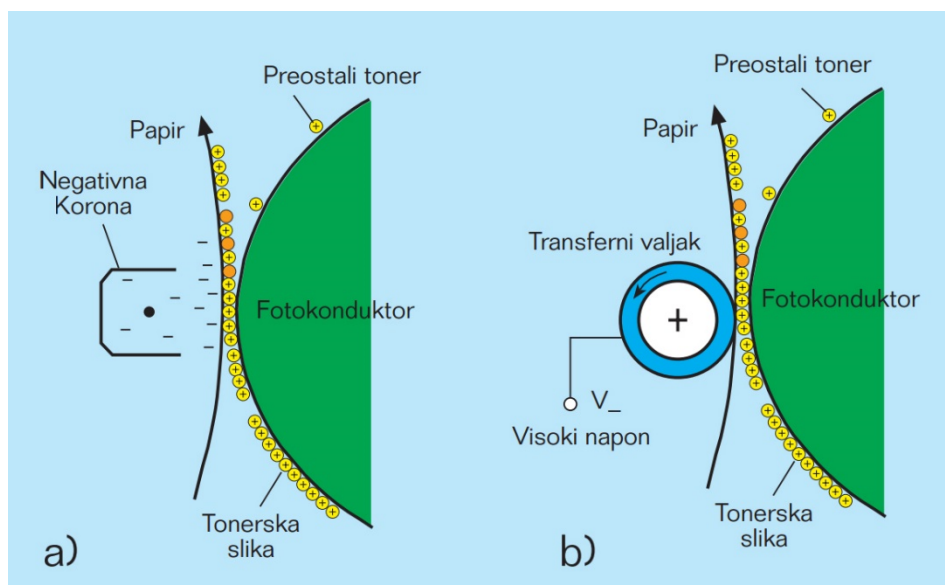
#### 2.3.4. Prijenos tonera

Nakon obojenja latentne tiskovne forme ona postaje vidljiva i pogodna da se nanese toner prenese na tiskovnu podlogu. Prijenos tonera u elektrografiji može se vršiti na dva načina: direktnim transferom i indirektnim transferom. [1]

Kod direktnog transfera tiskovna podloga dovodi se u izravni kontakt s fotokonduktorom. Da bi prijenos tonera s fotokonduktora na tiskovnu podlogu bio što učinkovitiji potrebno je ugraditi odgovarajući transferni uređaj. Takav uređaj se pozicionira s donje strane tiskovne podloge koji pri svom radu generira ione suprotnog predznaka kako bi privlačio čestice tonera na tiskovnoj podlozi.



Uređaje za prijenos tonera dijelimo po konstrukciji na transferne korone i transferne valjke. [1] Primjer transfera koronom i valjkom prikazan je na slici 12.



*Slika 12. Uređaji za direktni prijenos tonera: a) transferna korona, b) transferni valjak (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, 2007.)*

Prilikom indirektnog otiskivanja tiskovna podloga nije u dodiru s fotokonduktorom, već se kontakt izvodi posredstvom prijenosnog medija. U tom slučaju toner se prvo prenosi na površinu prijenosnog medija, a tek onda dalje na tiskovnu podlogu. Prijenosni mediji mogu biti u obliku beskonačnog remena ili kao navlaka na prijenosnom cilindru. [4]

### 2.3.5. Fiksiranje tonera (fuziranje)

Kada se u kontakt dovedu čestice tonera i tiskovna podloga tada dolazi do njihovog međusobnog privlačenja elektrostatskim silama i međumolekularnim silama. Radi spomenutih sila privlačenje čestica tonera i papirnih vlakana nije ujednačeno te samo niži slojevi nanesenog tonera imaju privilegiju kvalitetnijeg

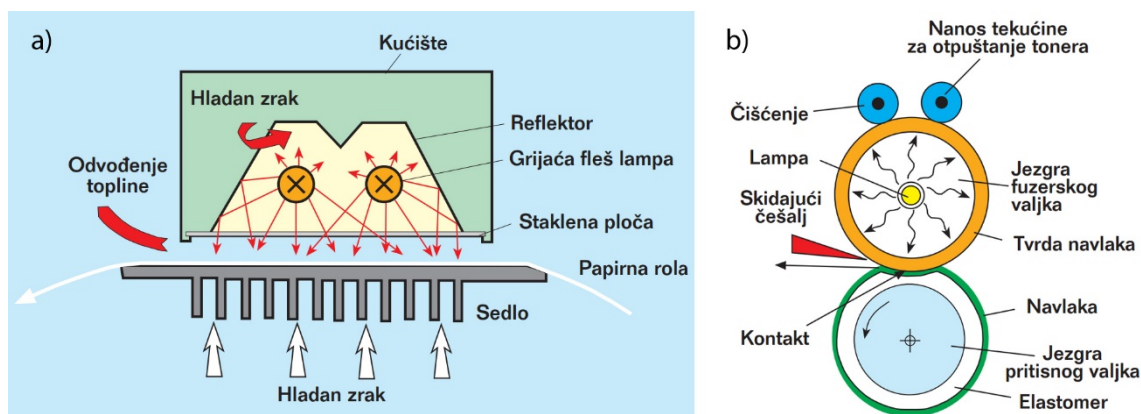
vezivanja. Ostatak odnosno većina prenesenog tonera ostaje nestabilna i nije otporna na mehaničko otiranje zbog toga je potrebno dodatno fiksiranje čestica tonera za tiskovnu podlogu. Posebni uređaji konstruirani za svrhu fiksiranja tonera za podlogu nazivaju se fuzeri. [4]

Između različitih tipova jedinica za fuziranje najčešće se sreću fuzeri koji rade na principu vrućeg uprešavanja ili fiksiranja zračenjem. Većina suvremenih jedinica za fuziranje primjenjuje tehnologiju takozvanog toplog fuziranja pri čemu je toner građen od termoplastičnog materijala koji zagrijavanjem mijenja agregatno stanje. [4]

Fuziranje zagrijanim valjcima spada u tip jedinica za fuziranje koje rade na principu uprešavanja. Prilikom takvog fuziranja tiskovna podloga koja na sebi ima nanесenu tonersku sliku prolazi kroz fuzersku jedinicu u kojoj fuzerski valjci rotiraju. Fuzerski valjci se zagrijavaju na temperaturu od 150°C do 220°C koji prijenosom toplinske energije griju papir i toner te pritiskom stvorenim među valjcima vrše prijenos tonera na papir. Toner je pritom u rastaljenom stanju što je pogoduje potpunom odvajanju sa površine fuzerskog valjka. Valjkasti fuzirajući sistem se obično sastoji od grijanog fuzerskog valjka i hladnog pritisknog valjka. Ovisno o formiranoj dodirnoj zoni, razlikujemo 3 verzije valjkastih fuzerskih jedinica:

- a) Dodirna zona formirana masom pritisknog valjka
- b) Dodirna zona formirana pritiskom tvrdog fuzerskog i mekog pritisknog valjka
- c) Dodirna zona formirana pritiskom mekog fuzerskog i mekog pritisknog valjka (slika 13)

Fiksiranje zračenjem može se vršiti fleš grijačima. Konstrukcija takvih beskontaktnih uređaja za fuziranje vrlo je jednostavna (slika 13). Osnova procesa bazirana je na izvoru zračenja koji je s 3 strane okružen reflektorima. Oslobođena se toplina odbija od reflektora i usmjerava na otisak. Uslijed zagrijavanja čestice tonera na površini otiska omekšavaju gdje se pritom se oslobađaju tonerski plinovi koje je potrebno izvući i pročistiti. [4]



Slika 13. Princip a) fiksiranja zračenjem i b) fiksiranja fuzerskim valjcima (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, 2007.)

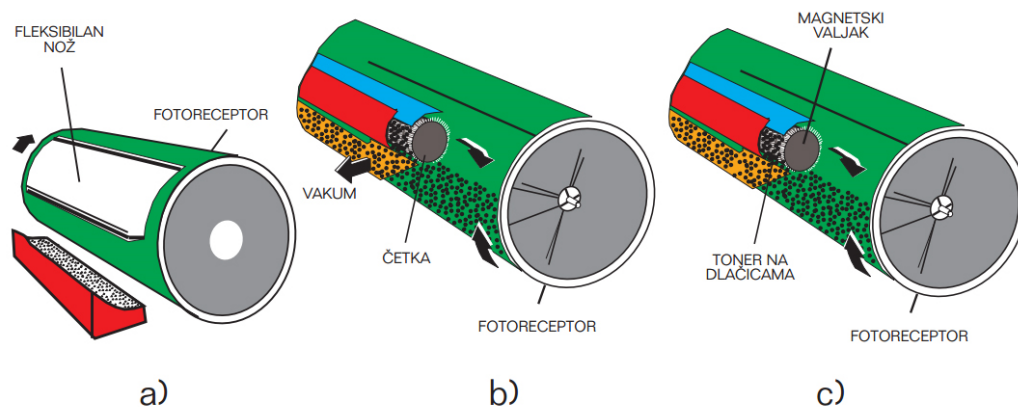
S druge strane takozvano hladno fuziranje primjenjuje se u jeftinijim elektrofotografskim strojevima gdje se čestice tonera izlažu parama freona i pritom dolazi do omekšavanja tonera što rezultira promjenom agregatnog stanja tonera. Kako se pri takvom fiksiranju tiskovna podloga ne zagrijava i ostaje u prirodnom stanju otisci dobiveni hladnim fuziranjem su visoke kvalitete međutim, radi ekoloških normi hladno fuziranje više nije u upotrebi.[4]

#### 2.3.6. Čišćenje fotoreceptora

Fiksiranjem tonera za podlogu završen je proces otiskivanja. Kako bi moglo započeti ponovno otiskivanje površinu fotokonduktora potrebno je ponovno pripremiti za nabijanje. Na površini fotokonduktora ostao je napon sa prethodno generirane virtualne tiskovne forme zajedno sa ostatcima tonerskih čestica koje se nisu prenijele na tiskovnu podlogu. Radi toga se provodi proces čišćenja koji se vrši brisanjem napona virtualne tiskovne forme i skidanjem ostataka tonera sa fotokonduktora. [1]

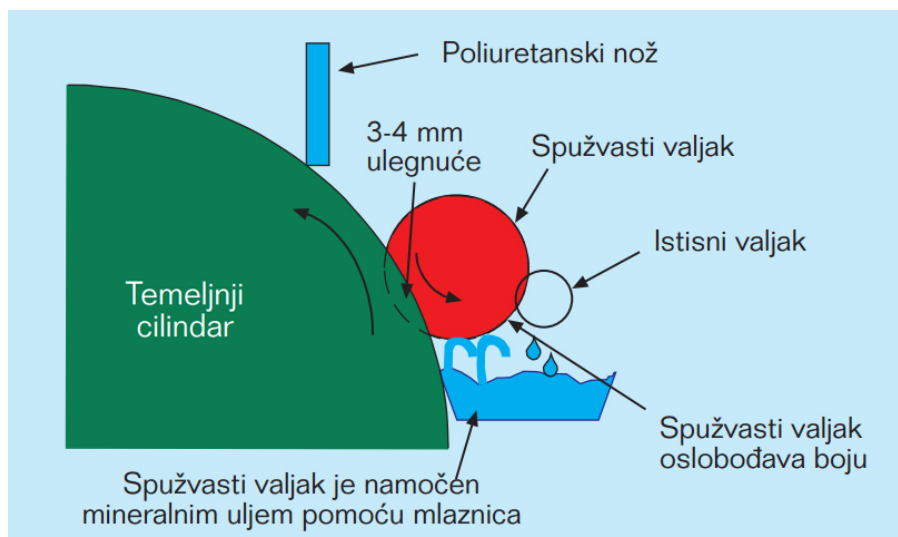
Brisanje napona virtualne tiskovne forme postiže se osvjetljavanjem fotokonduktorske površine odgovarajućim izvorom svjetlosti pri čemu nestaje

jako elektrostatsko polje formirano nabijanjem u prvoj fazi procesa (neutralizacija). [1] Kada je izbrisan napon elektrostatskog polja čestice tonera mehanički se skidaju s površine fotokonduktora mehaničkim djelovanjem elastičnog noža, čišćenjem uz pomoć mekane četke ili čišćenjem magnetskom četkom. [4] Na slici 14. prikazani su najčešće primjenjivani načini čišćenja fotoreceptora.



*Slika 14. Mehaničko uklanjanje tonera: a) elastičnim nožem, b) mekanom četkom, c) magnetnom četkom (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrografije, doktorska disertacija, 2007.)*

Kod tekućih tonera čišćenje se vrši specijalno konstruiranom jedinicom za uklanjanje tekućeg tonera. Ona se sastoji od kućišta, mlaznica za nanašanje tekućeg nosioca, spužvastog valjka, valjka za cijedenje i poliuretanskog noža. Mehaničko čišćenje tekućeg tonera započinje prskanjem tekućeg nosioca na spužvasti valjak pri čemu je je namočen spužvasti valjak u direktnom kontaktu s fotokonduktorom, te ga jednolično vlaži. U konačnici ostatci tekućeg tonera uklanjaju se elastičnim poliuretanskim nožem. [4]



*Slika 15. Mehaničko uklanjanje tekućeg tonera (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*

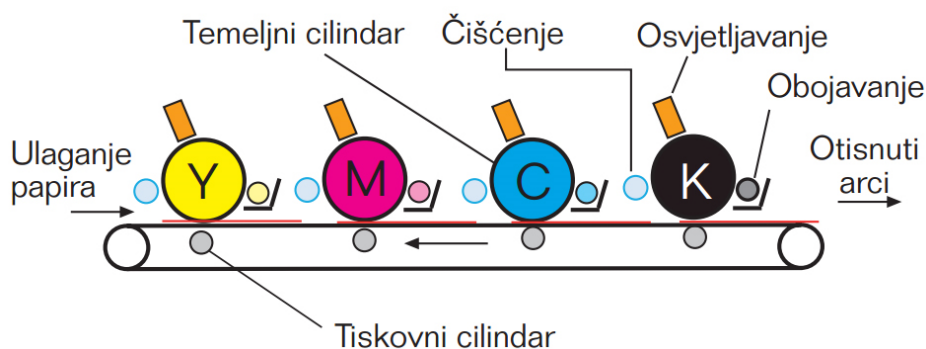
## 2.4. Konstrukcije elektrofotografskih strojeva

Kao i kod konstrukcija ofsetnih tiskarskih strojeva i ovdje možemo pronaći razne varijante. Samim time svaki proizvođač elektrofotografskih strojeva radi na vlastitom razvoju što je rezultiralo sa čestim promjenama modela. Ipak sve elektrofotografske strojeve možemo podijeliti na:

- Jednoprolazne elektrofotografske strojeve
- Višeprolazne elektrofotografske strojeve

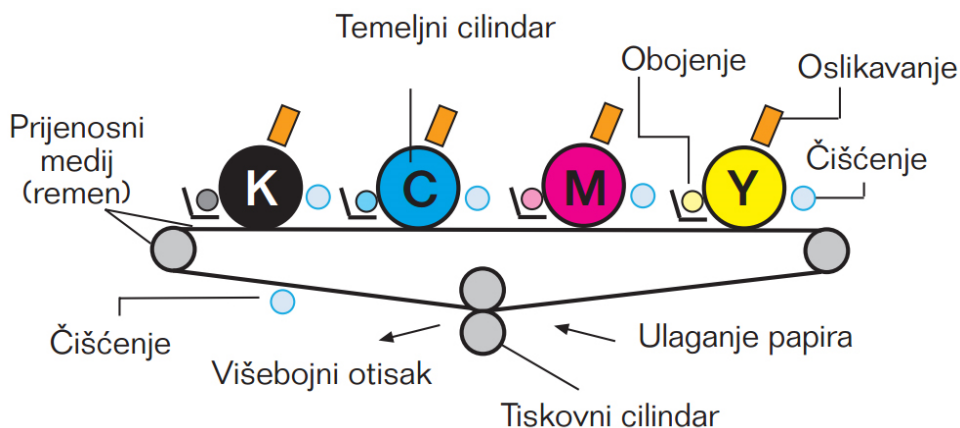
Konstrukcija tiskovne jedinice odnosno sam način otiskivanja (direktan ili indirektan tisak) određuje razliku između jednoprolaznih i višeprolaznih elektrofotografskih strojeva.[4]

Jednoprolazni višebojni elektrofotografski strojevi imaju prostorno veći tiskarski sustav u kojemu su tiskarske jedinice međusobno odvojene. Takav tiskarski sustav sadrži četiri temeljna i četiri tiskovna cilindra gdje tiskarske jedinice odvojeno nanose bojilo, koje se direktno u jednom prolasku otiskuje na tiskovnu podlogu, čime se ostvaruje direktno otiskivanje. [4]



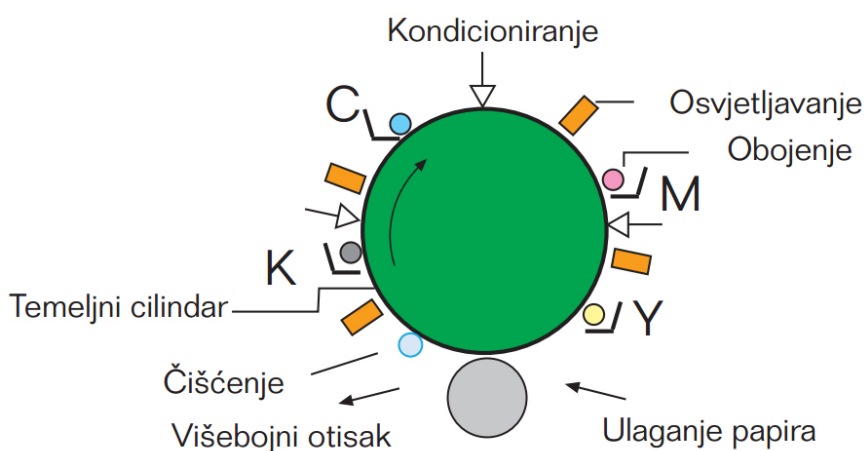
*Slika 16. Jednoprolazni višebojni elektrofotografski stroj s direktnim načinom otiskivanja (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektnog elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*

U varijanti indirektnog otiskivanja jednoprolazni elektrofotografski strojevi konstrukcijom su vrlo slični direktnom načinu otiskivanja. Razlika je u dodatnom prijenosnom remenu koji se nalazi između četiri temeljna cilindra i jednog tiskovnog cilindra gdje se na prijenosnom remenu vrši nanos svih kolornih separacija. Tako nanesen toner se prenosi pomoću remena do tiskovne podloge gdje se vrši otiskivanje. [4]



*Slika 17. Jednoprolazni višebojni elektrofotografski stroj s indirektnim načinom otiskivanja (Izvor: I. Majnarić, Studija indirektnog elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)*

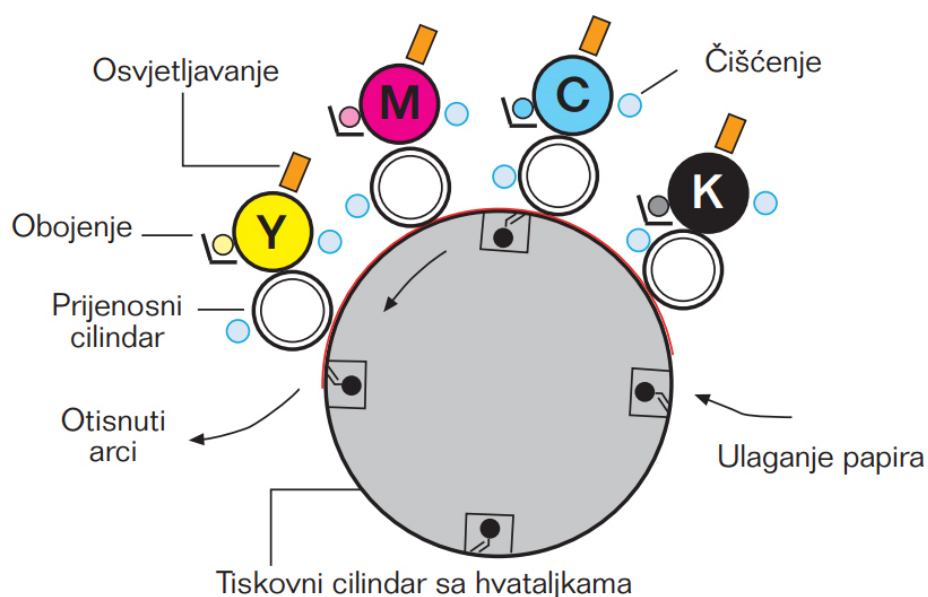
Višeprolazni elektrofotografski strojevi satelitske konstrukcije posjeduju jedan veliki temeljni cilindar oko kojega su poredane četiri tiskovne jedinice. Nanašanje svih obojenih tonera vrši se na temeljnom cilindru (proces se započinje od najsvjetlije žute preko magente i cijana do najtamnije crne). Između svakog procesa nanošenja tonera, izvodi se novo kondicioniranje koje je nužno potrebno za slijedeću fazu oslikavanja. U konačnici se izvrši otiskivanje direktnim pritiskom temeljnog cilindra o papir, koji se nalazi na tiskovnom cilindru. Radi spomenute konstrukcije i načina oslikavanja takvi strojevi su znatno sporiji od jednoprolaznih elektrofotografskih strojeva. [4]



*Slika 18. Višeprolazni elektrofotografski stroj s direktnim načinom otiskivanja  
(Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija,  
2007.)*

Isto tako, indirektni višeprolazni satelitski sistemi mogu sadržavati četiri puta veće tiskovni cilindre u odnosu na jednoprolazne. Takav tiskovni cilindar posjeduje četiri hvataljke tiskovnog cilindra koje za vrijeme otiskivanja pridržavaju tiskovne podloge dok se između četiri temeljna i jednog tiskovnog cilindra nalaze četiri prijenosna cilindra. Prijenosni cilindri imaju funkciju da prenesu tonere s fotokonduktora na tiskovnu podlogu te se time postiže indirektno otiskivanje. [4]

Kod indirektnih višeprolaznih sistema tiskovni cilindar je u početku bio velik te je time sama konstrukcija stroja zauzimala puno prostora. Isto tako prilikom otiskivanja kolornih reprodukcija tiskovna podloga mora četiri puta zakružiti pomoću tolikog tiskovnog cilindra te je time put tiskovne podloge u sistemu za otiskivanje dug. Zato moderni višeprolazni indirektni satelitski sistemi ne primjenjuju više takvu konstrukciju pa su i dimenzije tiskovnih cilindara smanjene na veličinu prijenosnih cilindara. Time se postigla bolja funkcionalnost i veća produktivnost takvih strojeva. [4]

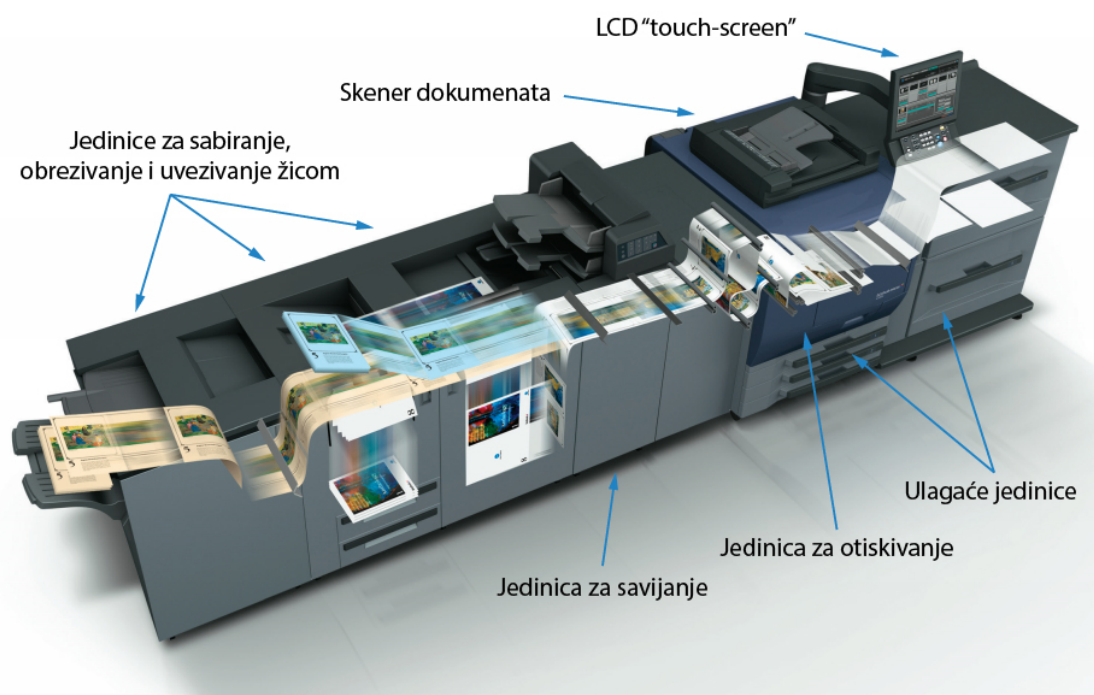


Slika 19. Višeprolazni elektrofotografski stroj s indirektnim načinom otiskivanja  
(Izvor: I. Majnarić, Studija indirektnne elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.)



#### 2.4.1. Minolta C6000 elektrofotografski stroj

Svi proizvođači elektrofotografskih strojeva, pa tako i Minolta, nastoje zadovoljiti potrebe tržišta te teže što većoj učinkovitosti, pouzdanosti i boljoj kvaliteti proizvoda. Tako se visokoproduktivni digitalni tiskarski strojevi odlikuju skalabilnošću čime sustav čine sposobnim za raznovrsno rukovanje tiskovnim podlogama, više doradnih procesa uz jednostavno rukovanje samim tiskarskim strojem. Minoltin model C6000 spada u kategoriju jednoprolaznih indirektnih elektrofotografskih strojeva. [5]



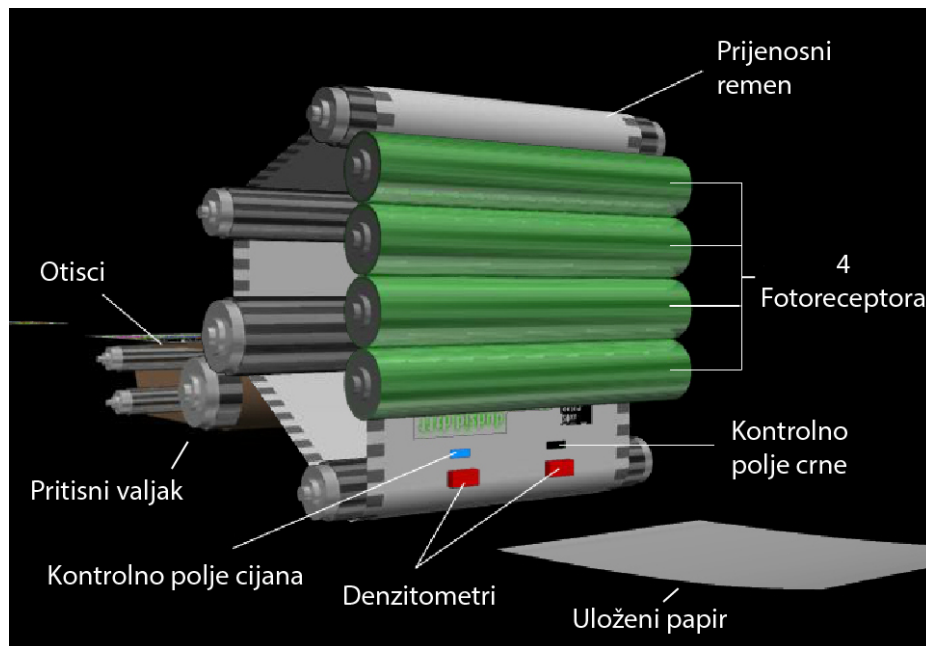
*Slika 20. Osnovne cjeline elektrofotografskog stroja Minolta C6000 (Izvor: <http://www.kubinski.com/wordpress/wp-content/uploads/2013/02/c6000.jpg>)*

Od samog početka procesa izrade grafičkog proizvoda Minolta C6000 svojim korisnicima olakšava rad tako da je na samom stroju ugrađen 15 " LCD monitor osjetljiv na dodir. Tako su sve opcije ispisa, postavki doradnih procesa i kontrola otiska dostupni su na jednom mjestu (putem ekrana koji pruža i pregled samog tijeka izrade proizvoda). [5]



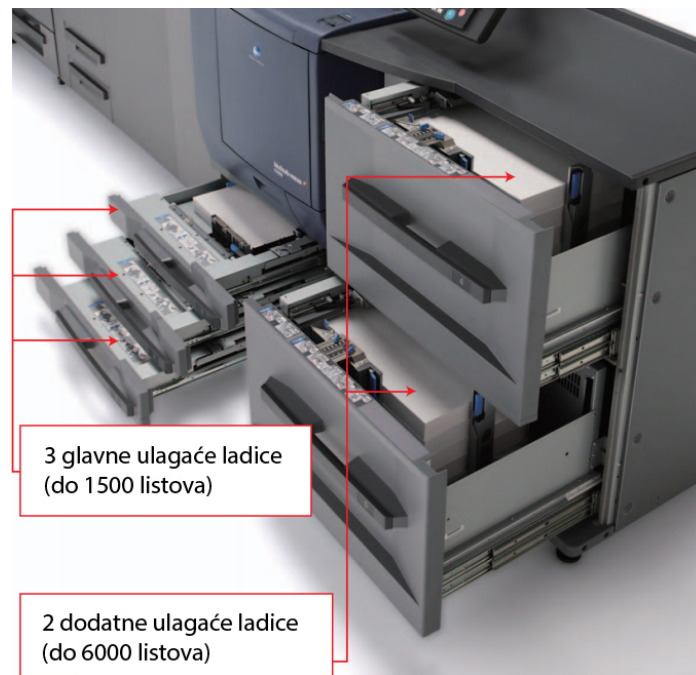
*Slika 21. „Touch screen“ na tiskarskom stroju Minolta C6000 (Izvor: [http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000\\_c6000/pdf/bizhub\\_press\\_c7000\\_c6000.pdf](http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000_c6000/pdf/bizhub_press_c7000_c6000.pdf))*

Jedinica za otiskivanje tiskarskog stroja Minolta C6000 također pruža praćenje kvalitete otiska. Pritom se vrši denzitometrijska kontrola gustoće obojenja punog tona i 50% rastertonske vrijednosti obojenja. Za vrijeme rada stroj se ne zaustavlja te se u pokretu izvode mjerenja. Pritom se na prijenosnom remenu u marginama otiskuju CMKY kontrolna polja. [5]



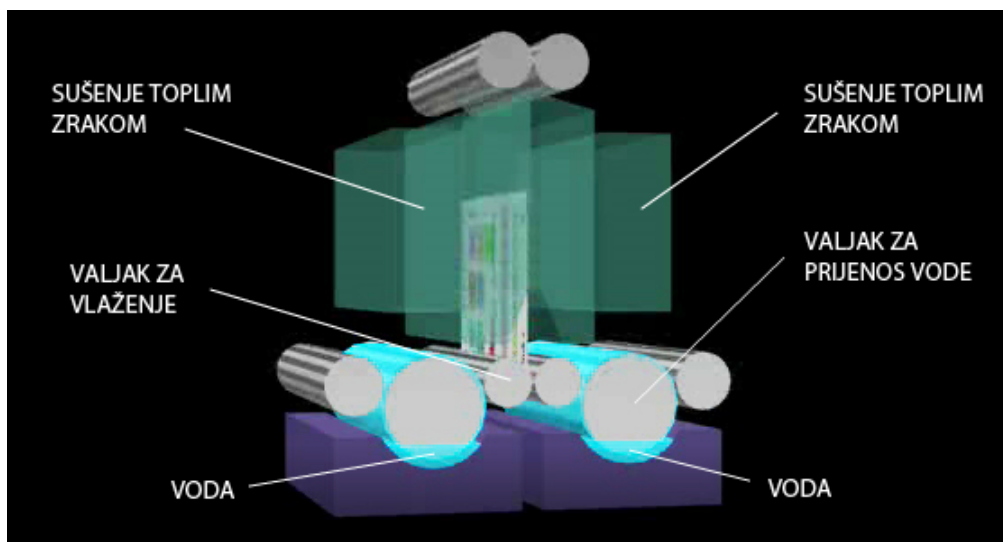
*Slika 22. Jedinica za otiskivanje sa kontrolom gustoće obojenja - Minolta C6000  
(Izvor: [http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000\\_c6000/](http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000_c6000/))*

Da bi se tiskarska jedinica opskrbila sa tiskovnim podlogama u Minoltu C6000 je ugrađeno 5 ulagaćih ladica. Ulagачe jedinice u proširenoj varijanti mogu imati i kapacitet od 7500 listova od kojih dvije imaju po kapacitet po 3000 listova. Tako svaka ulazna jedinica može sadržavati drugačiji tip tiskovne podloge. [6] Samim time ukoliko grafički proizvod zahtjeva više različitih tiskovnih podloga, tada postoji mogućnost da stroj automatski ulaže različite tiskovne podloge. Jedna od ladica visokog kapaciteta može dodatno sadržavati uređaj za kondicioniranje papira u kojim se kontrolira vlaga čime se tiskovna podloga dodatno priprema za otiskivanje. Ulagaća jedinica u jednoj od konstrukcija može sadržavati i grijač koji zagrijavanjem odvodi vlagu iz tiskovne podloge i time ju dodatno priprema za otiskivanje. [5]



*Slika 23. Ulagaće ladice na elektrofotografskom stroju Minolta C6000 (Izvor: [http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000\\_c6000/pdf/bizhub\\_press\\_c7000\\_c6000.pdf](http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000_c6000/pdf/bizhub_press_c7000_c6000.pdf))*

Nakon otiskivanja toner se mora fiksirati na tiskovnu podlogu. Međutim, nakon što je izvršeno fuziranje tiskovna podloga ima tendenciju da se savija obzirom da je prošla otiskivanje i fiksiranje. Kako bi se arak ispravio te spriječilo savijanje tiskovne podloge, Minolta C6000 ima ugrađenu opciju za vlaženje papira. [5] Dodatkom vode higroskopni papir postaje gibak i podatniji za doradu. Nakon toga otisak se još suši fenom i vodi kroz sistem prijenosnih remena koji mehanički ispravljaju tiskovnu podlogu u ravan položaj. [5]



*Slika 24. Jedinica za izravnavanje tiskovne podloge u elektrofotografskom stroju*

*Minolta C6000 (Izvor:*

*[http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000\\_c6000/](http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000_c6000/))*

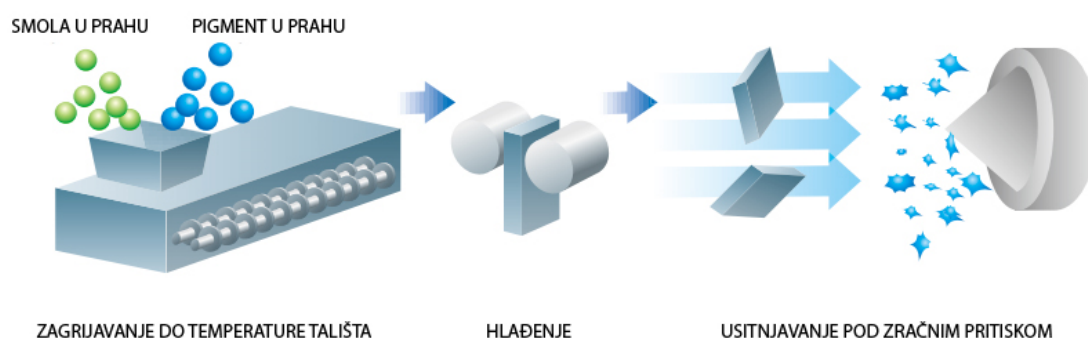
Što se tiče doradnih procesa Minoltu C6000 moguće je povezati sa čitavim nizom doradnih jedinica. Osnova je bazična jedinica za izlaganje, ali kao opcija nadogradnje može biti jedinica za uvezivanje žicom (po dužoj ili kraćoj strani tiskovne podloge, ili uvezivanje žicom u samom kutu tiskovne podloge). Postoji mogućnost dodavanja i jedinice za savijanje. Ona omogućava 6 različitih vrsta savijanja (može se pridodati uz opciju u kojoj se vrši savijanje i obrezivanje). Također, kao opciju uvezivanja moguće je ugraditi doradnu jedinicu koja uvezuje do 300 listova mekog uveza. Uz primjenu nove tehnologije poravnavanja tiskovne podloge, omogućeno je uvezivanje bez naknadnog obrezivanja sa tri strane. [6]



Slika 25. Mogućnost nadogradnje Minolte C6000: a) osnovni model, b) prošireni model (Izvor: <http://www.konicaminolta.eu/en/business-solutions/products/production-printing/discontinued-products/colour/bizhub-press-c6000-c7000-p/introduction.html>)

## 2.5. Toneri za Minoltine elektrofotografske strojeve

Kao i kod ostalih proizvođača elektrofotografskih strojeva pri nastajanju otisaka se koriste specijalizirano obojeni materijali koji se još nazivaju toneri. [1] Kod Minolte C6000 se u početku koristio klasični praškasti toner. [6] Uobičajena proizvodnja konvencionalnog dvokomponentnog tonera se vrši metodom usitnjavanja. Takav toner se proizvodi na način da se čestice polimera zagrijevaju na temperaturu tališta, naglo se hlade strujanjem zraka i mehanički melju odnosno usitnjavaju. [7] Na slici 26 prikazane su osnovne faze izrade konvencionalnog polimeriziranog tonera.

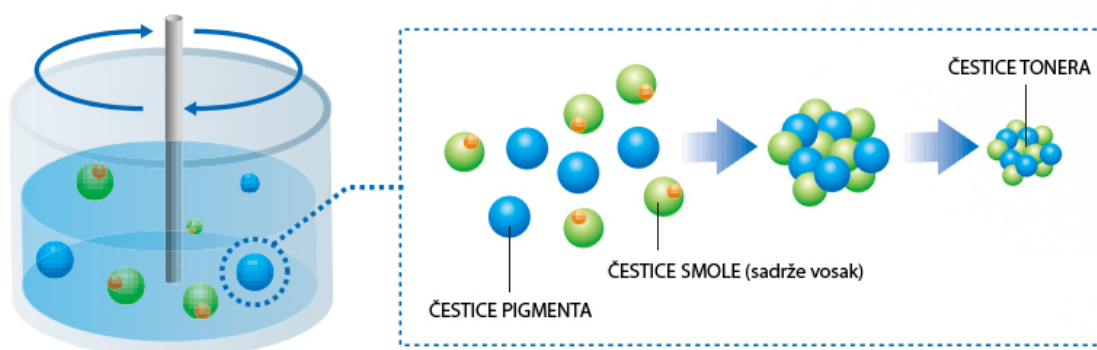


Slika 26. Proizvodnja tonera usitnjavanjem (Izvor: [http://www.konicaminolta.com/about/csr/csr/download/2010/pdf/2010\\_en\\_13-16.pdf](http://www.konicaminolta.com/about/csr/csr/download/2010/pdf/2010_en_13-16.pdf))

Pri transportiranju takvog elektrofotografskog tonera upotrebljavaju se veći magnetski nosioci tonera kako bi se za trajanja razvijačkog procesa čestice elektrofotografskog tonera bolje sudarale s nosiocima. Pri tom kontaktu dolazi do trenja, što rezultira s zadovoljavajućim električnim nabijanjem. [4]

Novi tip Minoltinog polimeriziranog tonera naziva se „Simitri toner“. On se proizvodi metodom polimerizacije odnosno emulzijskom agregacijom gdje se čestice smole spajaju sa česticama pigmenata. Budući da su čestice tonera proizvedene miješanjem čestica smole i pigmenta boje, postupak polimerizacije može proizvesti manje i jednolične čestice tonera u usporedbi s česticama tonera dobivenih metodom usitnjavanja. [7]

Proizvodnja i uporaba takvog tonera između ostalog je i ekološki pogodna. Naime pri proizvodnom procesu takav toner u atmosferu ispušta oko 40% manje ugljičnog dioksida nego proizvodnja konvencionalnim načinom odnosno mljevenjem. [7]



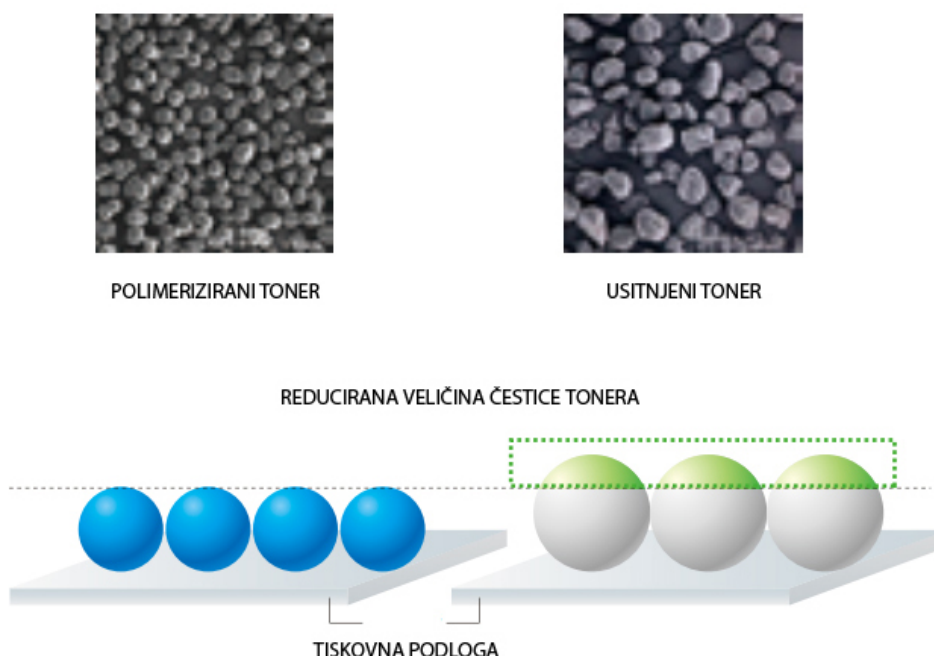
*Slika 27. Proizvodnja tonera emulzijskom agregacijom (Izvor:*

*[http://www.konicaminolta.com/about/csr/csr/download/2010/pdf/2010\\_en\\_13-16.pdf](http://www.konicaminolta.com/about/csr/csr/download/2010/pdf/2010_en_13-16.pdf))*

Pri takvom načinu proizvodnje nastali toner je sastavljen od čestica veličine 6  $\mu\text{m}$  koje su znatno manjih čestica nego dobivenih usitnjavanjem (8  $\mu\text{m}$ ). Stoga se za otiskivanje troši nešto manje tonera (općenito oko 20%). Isto tako prednost Minoltinog tonera je to što je tako proizveden toner moguće fiksirati na tiskovnu



podlogu na znatno nižim temperaturama (oko 25°C manje) čime se postiže znatna ušteda energije pri proizvodnji grafičkog proizvoda. [7] Samim time moguće je uspješno otiskivanje na sintetičkim papirima i termo nestabilnim folijama.



*Slika 28. Komparacija veličina polimeriziranog tonera i klasičnog tonera (Izvor: [http://www.konicaminolta.com/about/csr/csr/download/2010/pdf/2010\\_en\\_13-16.pdf](http://www.konicaminolta.com/about/csr/csr/download/2010/pdf/2010_en_13-16.pdf))*

Radi spomenute niže temperature fiksiranja otiska omogućeno je korištenje širi raspon debljine papira. Drugim riječima tanki papir niske gramature koji bi se pri standardnom fiksiranju deformirao u ovom slučaju ne doživljava nikakve promjene (deformacije). Tanki papiri niske gramature puno bolje apsorbiraju temperaturu nastalu na fuzeru, pa se time sila pritiska prilikom fiksiranja može smanjiti obzirom na standardno fiksiranje.

U želji za postizanjem mogućnosti reprodukcije što većeg gamuta te nastojanju da se reprodukcija pomoću Minoltinih strojeva čim više približi reprodukciji na suvremenim ekranima (mobilni uređaji, računala...) Minolta je razvila novi kolorni



pigment. Kombinaciju ranije spominjanog polimeriziranog tonera (Simitri) i novorazvijenog pigmenta nazvali su High-Chroma toner. Takav toner karakterizira otpornost na vanjske uvjete (temperatura, svjetlost, vlaga) te mogućnost postizanja većeg kolornog gamuta od osnovnog polimeriziranog tonera. [8]

## **2.6. Boja**

### **2.6.1. Psihofizičke i fizikalne karakteristike boja**

Psihofizikalni fenomen induciran svjetlom ili osjećaj koji u mozgu izaziva svjetlost emitirana od nekog izvora ili reflektirana s površine nekog tijela nazivamo bojom. Doživljaj boje ovisan je o tri faktora:

- spektralnom sastavu svjetla koje pada na promatrani predmet
- molekularnoj strukturi materijala s kojeg se svjetlo reflektira ili koje ga propušta
- čovjekovim osjetom boje, kroz oči i mozak [9]

Boje se mogu definirati svojim uobičajenim imenima, ali i opisnim, literarnim izvedenicama, ali to ne govori ništa o njihovim izražajnim vrijednostima. Da bi se to promijenilo uvedena su tri atributa koji uže definiraju boju sa psihofizičkog stajališta. To su:

- ton boje
- zasićenje
- svjetlina [10]

Kada govorimo o doživljaju boje tada je riječ o subjektivnoj procjeni promatrača odnosno ljudskog oka koje određuje o kojem je tonu, zasićenosti odnosno svjetlini riječ. Takav način određivanja pojedine boje, ili usporedbe dviju boja, je nespretno jer bi iziskivao veliki uzorak promatrača kako bi dobili kvalitetne rezultate u mjerenju jer bi se svaki mjerni uređaj (promatrač) razlikovao od

drugoga. S druge strane spomenute psihofizičke karakteristike boje (ton, zasićenost i svjetlinu) sa stajališta fizikalne karakteristike boja određujemo sa:

- dominantnom valnom duljinom
- čistoćom pobude
- luminacijom

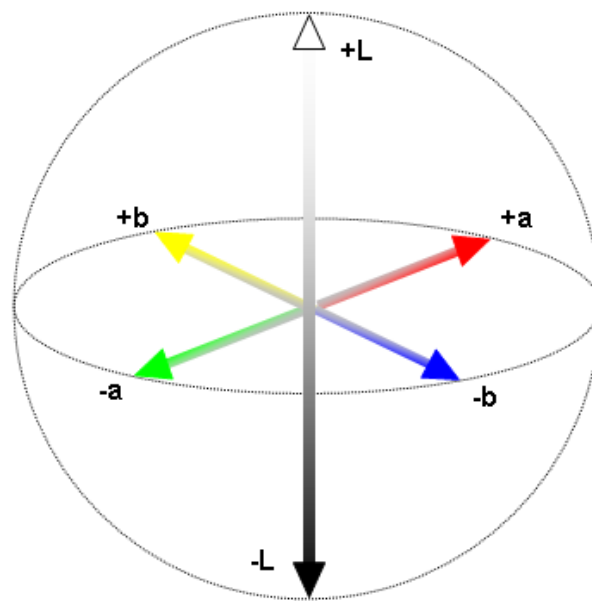
Takve attribute boja možemo mjeriti pomoću mjernih uređaja te njihove brojčane vrijednosti prikazati u nekom od kolornih prostoru boja. [11] Samim time je omogućeno brojčano određivanje razlike između pojedinih tonova.

### 2.6.2. Prostori boja

Prostori boja su trodimenzionalni modeli, uz pomoć kojih je moguće pobliže odrediti i vizualizirati sve vidljive boje i one koje se mogu koristiti u određenom reproduksijskom sistemu. Postoji velik broj prostora boja, ali se osnovna podjela može napraviti ovisno o uređaju i metodama reprodukcije *boja* (bazirani na RGB-u ili CMY-u). Sustavi koji su bazirani na perceptivno-psihološkim mjerenjima boja temelje se na psihofizičkim karakteristikama. To su CIE prostori boja kao CIEXYZ te njihove izvedenice CIE  $L^*a^*b^*$  ili CIE  $L^*u^*v^*$ . Svi oni su potpuno neovisni o korištenom mjernom uređaju (kolorimetru). [12]

Vizualno prikazivanje obojenja standardizirano je od strane Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). CIELAB sustav opisivanja boja prvi put je predstavljen 1976. godine. U početku je primijenjen na pokrivnim bojama te se opisuje odgovarajućim trodimenzionalnim prostorom temeljenom na Munsellovom atlasu boja. Gotovo u isto vrijeme objavljen je CIELUV sustav koji se koristi za opis obojenih izvora svjetla i standardnog promatrača. Oba sustava su ujedinjena u izraz CIE1976 prostora boja. Tako se i do danas najprikladnije prikazivanje otisnute boje vrši u CIELAB trodimenzionalnom sustavu. [13] Ukoliko se analizira njegova konstrukcija po vertikalnoj osi sastoji od plohe koje predstavljaju četiri osnovna obojenja (žuto, crveno, plavo, zeleno). Takva ploha definirana je pomoću dvije osi. Jedna os se naziva crveno-zelena os ( $a^*$ -os) te

druga plavo–žuta ( $b^*$ -os). Na  $a^*$ -osi, pozitivne vrijednosti ( $+a^*$ ) predstavljaju crveno obojenje, a negativne vrijednosti ( $-a^*$ ) predstavljaju zeleno obojenje. Na  $b^*$ -osi pozitivne vrijednosti ( $+b^*$ ) predstavljaju žuto obojenje, a negativne vrijednosti ( $-b^*$ ) plavo obojenje. Na rubovima  $a^*$  i  $b^*$  osi leže spektralne boje sa najviše zasićenja ( $S=100$ ), a prema ishodištu dviju osi zasićenje se smanjuje ( $S=0$ ). Vertikalna  $L^*$ -os (osvjetljenje) predstavlja akromatsko obojenje od crne ( $L=0$ ) do bijele ( $L=100$ ). [14]



Slika 29. CIELAB prostor boja (Izvor: [http://www.codeproject.com/KB/miscctrl/RevisedKnownColorsPalette/CIE\\_Lab.png](http://www.codeproject.com/KB/miscctrl/RevisedKnownColorsPalette/CIE_Lab.png))

### 2.6.3. Razlika obojenja

U CIELAB prostoru boja moguće je precizno prezentirati svaku boju, odnosno svaka boja može biti jasno određena pripadajućim koordinatama. Svojstva boja često se karakteriziraju atributima kao što su svjetlina, kromatičnost, ton boje ili kut tona. CIELAB sustavom ta svojstva mogu biti predložena i kvantificirana. Uz

praćenje koordinata  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  promatraju se kromatičnosti  $C_{ab}^*$  i kut tona  $h_{ab}$ ; [14]  
Kromatičnost je tako definirana izrazom:

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

Dok se kut tona  $h_{ab}$  može prikazati kao:

$$h_{ab} = \frac{180^\circ}{\pi} \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

Kroma  $C_{ab}^*$  boje zastupljena je u  $a^*$ ,  $b^*$  ravnini s udaljenosti između dvije koordinate određenih boja. Kut tona ukazuje na položaj unutar jednog kvadranta u ravnini boje, te predstavlja mjeru za odgovarajući ton. Prema definiranoj jednadžbi (2), kut tona je vrijednost boje s dimenzijama danim u stupnjevima. Kut tona povećava se u smjeru obrnutom od smjera kazaljke na satu, a određen je kutom koji zatvara pozitivna a-os sa polupravcem koji ima ishodište u središtu (a i b osi) te prolazi kroz koordinatu boje čija se razlika promatra. Sustav ima dodatnu temeljnu značajku, a to je da uz svaku od  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  koordinata boje razlika u obojenju između uzorka definira izrazima: uzorak (S) s vrijednostima  $L_S^*$ ,  $a_S^*$ ,  $b_S^*$  i vrijednostima s referentnom bojom - referenca (R)  $L_R^*$ ,  $a_R^*$ ,  $b_R^*$  proizlazi:

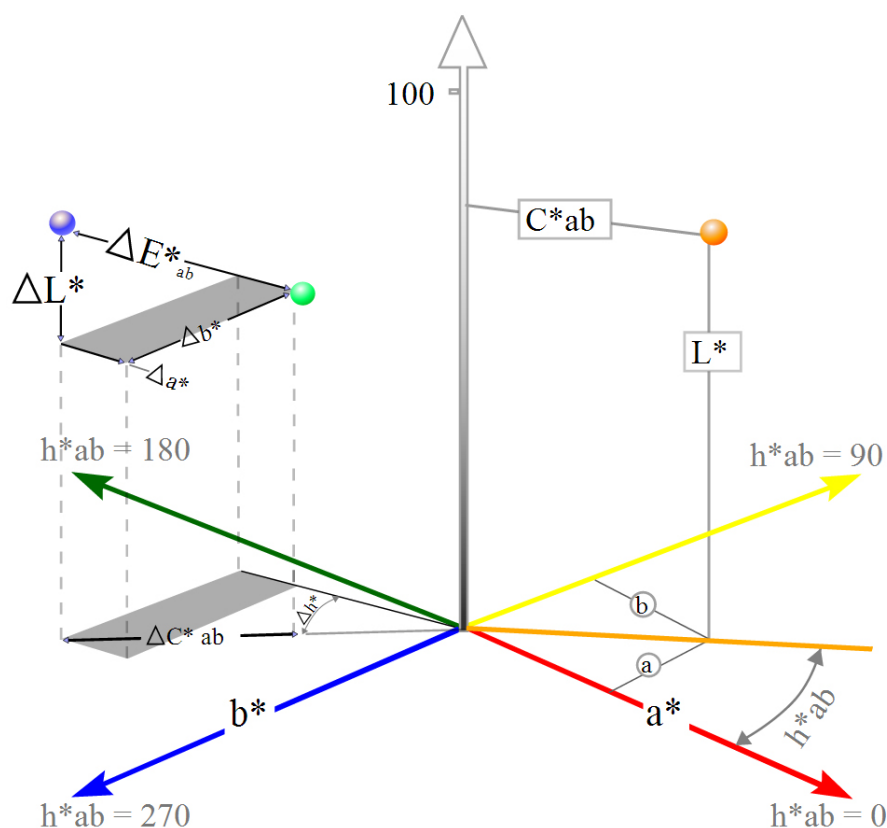
$$\Delta L^* = L_S^* - L_R^*, \Delta a^* = a_S^* - a_R^*, \Delta b^* = b_S^* - b_R^*, \quad (3)$$

gdje je

$$\Delta L^* = L_S^* - L_R^* \Rightarrow \text{od 0 svijetlije, < od 0 tamnije} \quad (4)$$

$$\Delta a^* = a_S^* - a_R^* \Rightarrow \text{od 0 crvenije, < od 0 zelenije} \quad (5)$$

$$\Delta b^* = b_S^* - b_R^* \Rightarrow \text{od 0 žuće, < od 0 plavije} \quad (6)$$



Slika 30. Grafički prikaz razlike obojenja dvije boje unutar CIELAB prostora  
(Izvor: <http://www.wisotop.de/farbabstand-farben-vergleichen.shtml>)

Cijela brojčana razlika u boji  $\Delta E^*_{ab}$  slijedi iz trodimenzionalnog Pitagorinog poučka:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (7)$$

Tako nastala analiza promjena kolornih vrijednosti otiska može se dovesti u korelaciju s kvalitetom reprodukcije. Razlika obojenja ( $\Delta E$ ) prikazuje kvalitetu reprodukcije - S i odstupanje reprodukcije od originala - R. Vrijednost predstavlja gubitak i otklon tristimulusnih vrijednosti koje odgovaraju percepciji boje u ljudskom oku. U tablici 1. prikazana su pet razreda tolerancija u obojenju koji se primjenjuju za detekciju kolornih promjena.

Tablica 1. Kvaliteta reprodukcije u korelaciji sa razlikom kolornih vrijednosti

VRIJEDNOST $\Delta E$	TOLERANCIJA
<1	Smatra se da prosječno ljudsko oko ne vidi razliku (nema razlike)
1 - 2	Vrlo mala razlika (optimalna razlika)
2 - 3.5	Srednja razlika
3.5 - 5	Velika razlika
5 >	Potpuno drugi ton

(Izvor: I. Zjakić, *Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska*, 2007.)

Razlika u boji može biti izražena alternativno uz pomoć razlike u svjetline  $\Delta L^*$  u kombinaciji s razlikom krome  $\Delta C^*_{ab}$  i razlikom tona  $\Delta H^*_{ab}$ .

Razlika kroma pritom je definirana izrazom (1);

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,S} - C^*_{ab,R} \quad (8)$$

S geometrijskog gledišta razlika kromatičnosti ( $C^*$ ) odgovara razlici duljine radijusa između položaja uzorka boje i referentne boje. Slično kao i kod jednadžbi (4), (5) i (6), kromatska razlika može se tumačiti pomoću atributa boja; razlika kromatičnosti veća od nula (više zasićenje, čišći ton), odnosno razlika manja od 0 (manje zasićenje, manje kromatičniji ton).

Na bazi jednadžbe (5) definirana je i devijacija kuta tona kako slijedi;

$$\Delta h^*_{ab} = h^*_{ab,S} - h^*_{ab,R} \quad (9)$$

Odnosno vrijednost  $\Delta H^*_{ab}$  definirana je sa izrazom:

$$\Delta H^*_{ab} = 2 \sqrt{C^*_{ab,S} \cdot C^*_{ab,R} \cdot \sin\left(\frac{\Delta h_{ab}}{2}\right)} \quad (10)$$

odnosno:

$$\Delta H_{ab}^* = \sqrt{(\Delta E_{ab}^*)^2 + (\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2} \quad (11)$$

U konačnici razlika u obojenju može se definirati;

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2 + (\Delta H_{ab}^*)^2} \quad (12)$$

U svakom slučaju, važno je navesti da devijacije  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta C_{ab}^*$ ,  $\Delta H_{ab}^*$ , i  $\Delta h_{ab}$ , precizno opisuju razlike u obojenja samo u određenim tonskim područjima. Jednadžba razlike u boji je samo okvirno prikladna za izračunavanje razlike u obojenju industrijskih boja. Iz tog razloga CIE 2000. godine preporučuje dodatnu formulu za izračunavanje koja se označava kao CIE $\Delta E_{2000}$  gdje je to djelomično korigirano.[14]

$$E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)} \quad (13)$$

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1. Metodologija rada**

U suvremenom tiskarstvu osim smanjenja vremena proizvodnje zahtjeva se i što manja cijena kolornog otiska. Ukoliko je riječ o maloj nakladi onda elektrofotografski strojevi zadovoljavaju oba kriterija. Međutim, u odnosu na standardni ofset, bakrotisak i Ink Jet kolorni otisci nisu kolorno dorasli. Pigmenti u elektrofotografskim tonerima nisu izdašni te tijekom proizvodnje (fuziranjem) mijenjaju obojenje tonera. Razlog tomu je izrada novih formulacija tonera koji će omogućiti veću zasićenost svijetlih tonova.

U ovom radu cilj je analizirati dvije vrste elektrofotografskog tonera odnosno analizirane su reprodukcije postignute otiskivanjem dvaju različitih tonera na dva elektrofotografska stroja. Spomenute reprodukcije su izrađene na tri različite vrste tiskovne podloge:

- Sjajnom premazanom papiru (Symbol freelifelife gloss)
- Sjajnom nepremazanom papiru (Splendorgel ew)
- Mat nepremazanom papiru (ColorCopy)

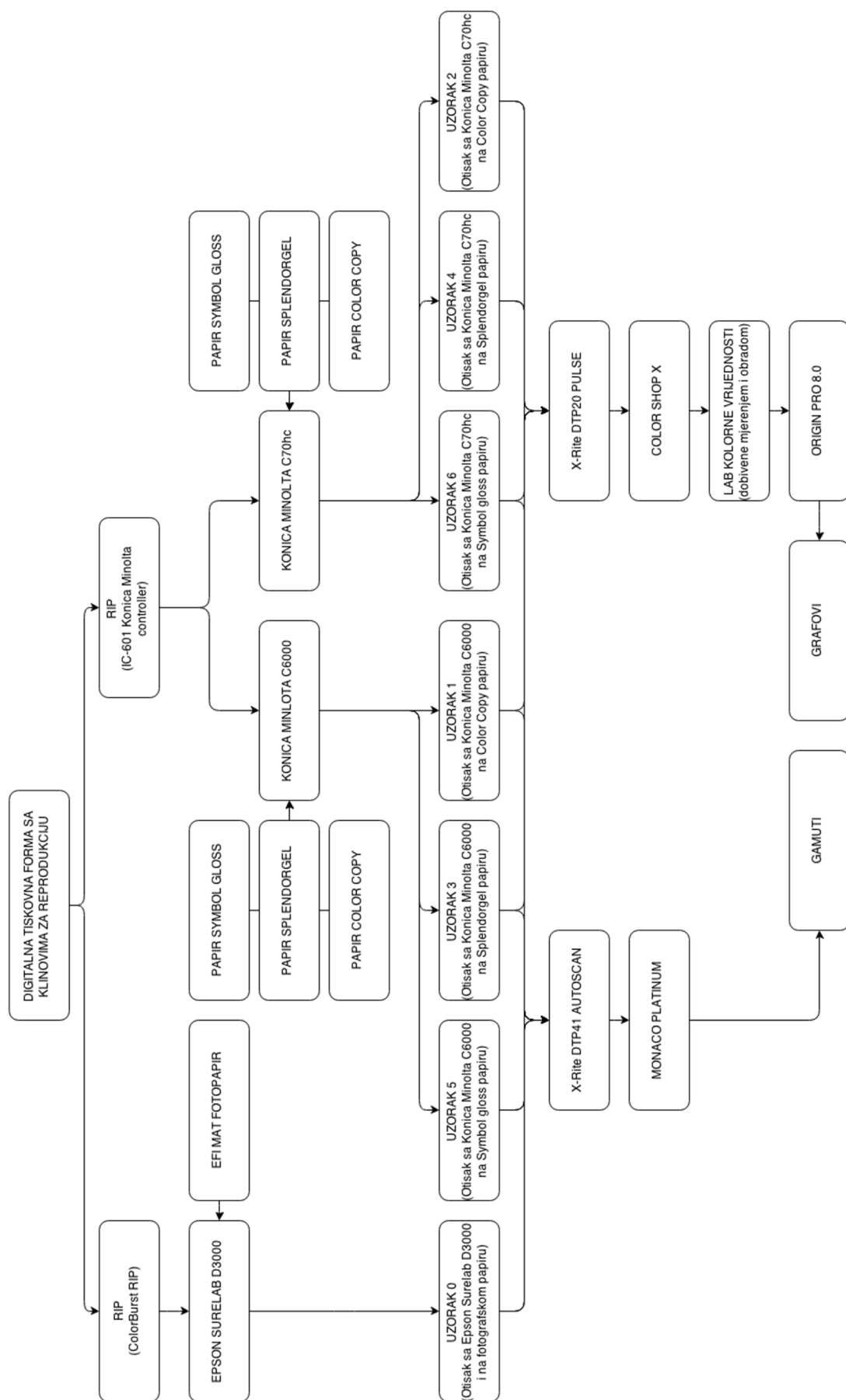
Kao referenca korišten je otisak izrađen na Epson SureLab D3000 digitalnom Ink Jet stroju na Epsonovom sjajnom fotografskom papiru za visokokvalitetnu reprodukciju. Takva reprodukcija je uzeta za referencu jer se pomoću Epson SureLab D3000 printera, koji otiskivanje vrši pomoću 6 boja (crna, svijetli cijan, cijan, svijetla magenta, žuta), postiže trenutno jedan od najvećih prostora boja pri reproduciranju.

Na elektrofotografskom stroju Minolta C6000 otiskivanje se vršilo konvencionalnim Minoltinim tonerom gdje su izrađeni otisci na tri različite tiskovne podloge dok se na stroju Minolta C70hc na tri spomenute podloge otiskivanje izvršilo sa visokopigmentiranim Minoltinim tonerom. Prilikom reproduciranja na oba Minoltina tiskarska stroja te na svim korištenim tiskovnim podlogama upotrijebljen je poseban motiv koji je sadržavao CMYK i RGB klinove



u rasponu od 10 – 100% RTV te posebni klin od 358 polja za određivanje maksimalnog gamuta.

Nakon otiskivanja izvršena su mjerenja gdje se posebni klin sa 358 polja različitog obojenja mjerio pomoću X-Rite DTP41 AutoScan spektrofotometra te su se pomoću rezultata i programa Monaco Profiler odredili gamuti. S druge strane motiv koji je sadržavao CMYK i RGB klinove mjereno je u tri ponavljanja sa X-Rite DTP20 Pulse spektrofotometrom nakon čega su dobivene srednje kolorne vrijednosti primarno otisnutih boja (CMYK i RGB). Prilikom analize i izrade ovog rada za grafički prikaz korišten je OriginPro 9.0 u kojemu su izrađeni svi grafovi. Kronologija izrade eksperimentalnog rada grafički je prikazana na slici 31.



Slika 31. Shematski prikaz metodologije rada

### 3.2. Korišteni uređaji i materijali

#### 3.2.1. Epson SureLab D3000

U ovom radu korišten je Epson SureLab D3000 radi postizanja otiska vrhunske kvalitete odnosno postizanja što većeg gamuta kao referentnog otiska u usporedbi sa ostalim otiscima napravljenim za ovaj rad. Ovakav pisač ima mogućnost ispisa na više vrsta foto papira sa vrlo visokom rezolucijom ispisa i to pomoću 6 boja čime postiže visoku kvalitetu ispisa.

*Tablica 2. Osnovne karakteristike Epson SureLab D3000*

Rezolucija	1440x1440 dpi
Brzina ispisa	11 stranica/min (veličine 10x15cm)
Toner	6 boja (crna, svijetli cijan, cijan, svijetla magenta, žuta)
Veličina papira	Maksimalna širina role – 305mm
Veličina otiska	Maksimalna širina otiska – 307mm

#### 3.2.2. Minolta C6000

Elektrofotografski stroj na kojemu je izrađen dio eksperimentalnih uzoraka karakterizira kvalitetni otisci i mogućnost varijacije u konstrukciji samog stroja. Pritom se misli na varijacije u dodatnim ulagačim jadicama, jedinicama za doradu, skenerima itd. Isto tako ovaj stroj karakterizira visoka brzina ispisa te mogućnost ispisa kolornih reprodukcija visoke rezolucije sa ugrađenim monitoriranjem kvalitete ispisa prilikom otiskivanja.

*Tablica 3. Osnovne karakteristike stroja Minolta C6000*

Rezolucija	1200x1200 dpi
Brzina ispisa	60 A4/min ili 34 A3/min
Kapacitet	10000 listova
Toner	6 boja (crna, svijetli cijan, cijan, svijetla magenta, žuta)
Veličina papira	330 x 487 mm
Veličina otiska	327 x 480 mm

### 3.2.3. Minolta C70hc

Ovaj elektrofotografski stroj također je korišten za izradu eksperimentalnih uzoraka. Stroj Minolta C70hc se, u načelu, razlikuje od prethodno navedenog Minolta C6000 stroja po tome što otiskivanje vrši pomoću posebnog visokopigmentiranog tonera kojim postiže reprodukcije većega gamuta. Toner koji koristi spomenuti stroj je Minoltin High Chroma toner sa pojačanom pigmentacijom u tonerima cijana i magente. Oba Minoltina stroja bila su u izvrsnom stanju odnosno otiskivanje se izvodilo na potpuno novim strojevima koji su smješteni u demo centru Minolte u Brnu (Češka Republika).

*Tablica 4. Osnovne karakteristike stroja Minolta C70hc*

Rezolucija	1200x1200 dpi
Brzina ispisa	71 A4/min ili 38 A3/min
Kapacitet	7500 listova
Toner	6 boja (crna, svijetli cijan, cijan, svijetla magenta, žuta)
Veličina papira	330 x 487 mm
Veličina otiska	321 x 480 mm

### 3.2.4. X-Rite DTP20 Pulse spektrofotometar

X-Rite DTP20 Pulse je spektrofotometar koji je dio Pulse ColorElite sustava za mjerenje spektrofotometrijskih i denzitometrijskih vrijednosti. Uređaj može mjeriti zasebna polja ili polja u obliku stripa odnosno polja u nizu. Njegove osnovne karakteristike prikazane su u tablici 5.

*Tablica 5. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-Rite DTP20 Pulse*

Spektralni senzor	LIST tehnologija
Spektralni opseg mjerenja	400-700 nm
Ponovljivost	0.2 $\Delta E$ max +- 0.01 D max
Brzina mjerenja	< od 2 sec za 30 polja
Interno instrumentsko slaganje	<0.3 $\Delta E$ 94 prosjek < 0.6 $\Delta E$ 94 max
Mjerna geometrija	0 / 45% ANSI / ISO 5.4.
Dimenzija / masa	6.1 x 6.1 x 13.2 cm / 258 g
Mjerni zaslon	3.2 mm promjer

### 3.2.5. X-Rite DTP41 AutoScan spektrofotometar

Ovaj spektrofotometar mjerenja vrši pomoću računalnog programa ColorShop X te se izlazni podatci mjerenja mogu prikazati kao gustoća obojenja,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ,  $H^*$ , x, y, Y, sivoća, pogreška tona, spektralna refleksija u vidljivom dijelu spektra te rastertonska vrijednost. Spektrofotometar mjeri polja u nizu što rezultira velikom brzinom mjerenja te pogoduje izradi ICC profila pomoću ranije spomenutog programa. Iz ICC profila tada je moguće formirati gamut odnosno volumen boja koji je postignut reprodukcijom i to pomoću programa Monaco platinum.

*Tablica 6. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-Rite DTP41 AutoScan*

Spektralni senzor	DRS tehnologija
Spektralni opseg mjerenja	400-700 nm
Ponovljivost	0.2 $\Delta E$ max +- 0.01 D max
Brzina mjerenja	0.25 sec po polju
Interno instrumentsko slaganje	0.3 $\Delta E$
Mjerna geometrija	45%/0° ANSI i ISO standard
Dimenzija / masa	8.8 x 18.4 x 11.4 cm / 890 g
Mjerni zaslon	1.8 x 2.5 mm

### 3.2.6. Papir za umjetnički tisak

Papir Simbol freelif gloss spada u skupinu papira za umjetnički tisak. Ovaj obostrano premazani papir je proizvod proizvođača papira Fedrigoni. Papir odlikuje malo korištenim teškim metalima pri izradi kao i to što je većina sirovina od kojega je izrađeno reciklirano celulozno vlakno.

*Tablica 7. Osnovne karakteristike papira Symbol freelif gloss*

PARAMETRI	JEDINICA	METODA	VRIJEDNOST	TOLERANCIJE
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	ISO 536	200	+ - 3%
Debljina	μm	ISO 534	156	-
Bjelina	%	ISO 2471	95	+ - 2%

### 3.2.7. Premazani papir za digitalni tisak

Splendorgel EW je premazani papir visokog stupnja bjeline posebno prilagođen strojevima digitalnog tiska. Papir je prilagođen za kvalitetno fiksiranje tonera te ima dobra mehanička svojstva koja pogoduju u višeprolaznim sistemima digitalnih strojeva.

*Tablica 8. Osnovne karakteristike papira Splendorgel EW*

PARAMETRI	JEDINICA	METODA	VRIJEDNOST	TOLERANCIJE
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	ISO 536	160	+ - 5%
Debljina	μm	ISO 534	176	-
Bjelina	%	ISO 2471	94	+ - 2%

### 3.2.8. Nepremazani papir za digitalni tisak

ColorCopy je papir za široku uporabu u digitalnom tisku gdje se posebno tretiranom površinom papira postižu uvjeti za postizanje kvalitetnih reprodukcija. Takav papir nema specijaliziranu namjenu što se tiče grafičkih proizvoda i služi za sveopću uporabu u pogledu raznovrsnosti grafičkih proizvoda. U ovom radu korišten je ColorCopy papir gramature 90 g/m<sup>2</sup>.

*Tablica 9. Osnovne karakteristike papira ColorCopy*

PARAMETRI	JEDINICA	METODA	VRIJEDNOST	TOLERANCIJE
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	ISO 536	90	+ - 5%
Debljina	μm	ISO 534	90	-
Bjelina	%	ISO 2471	91	+ - 2%

## **4. REZULTATI I RASPRAVA**

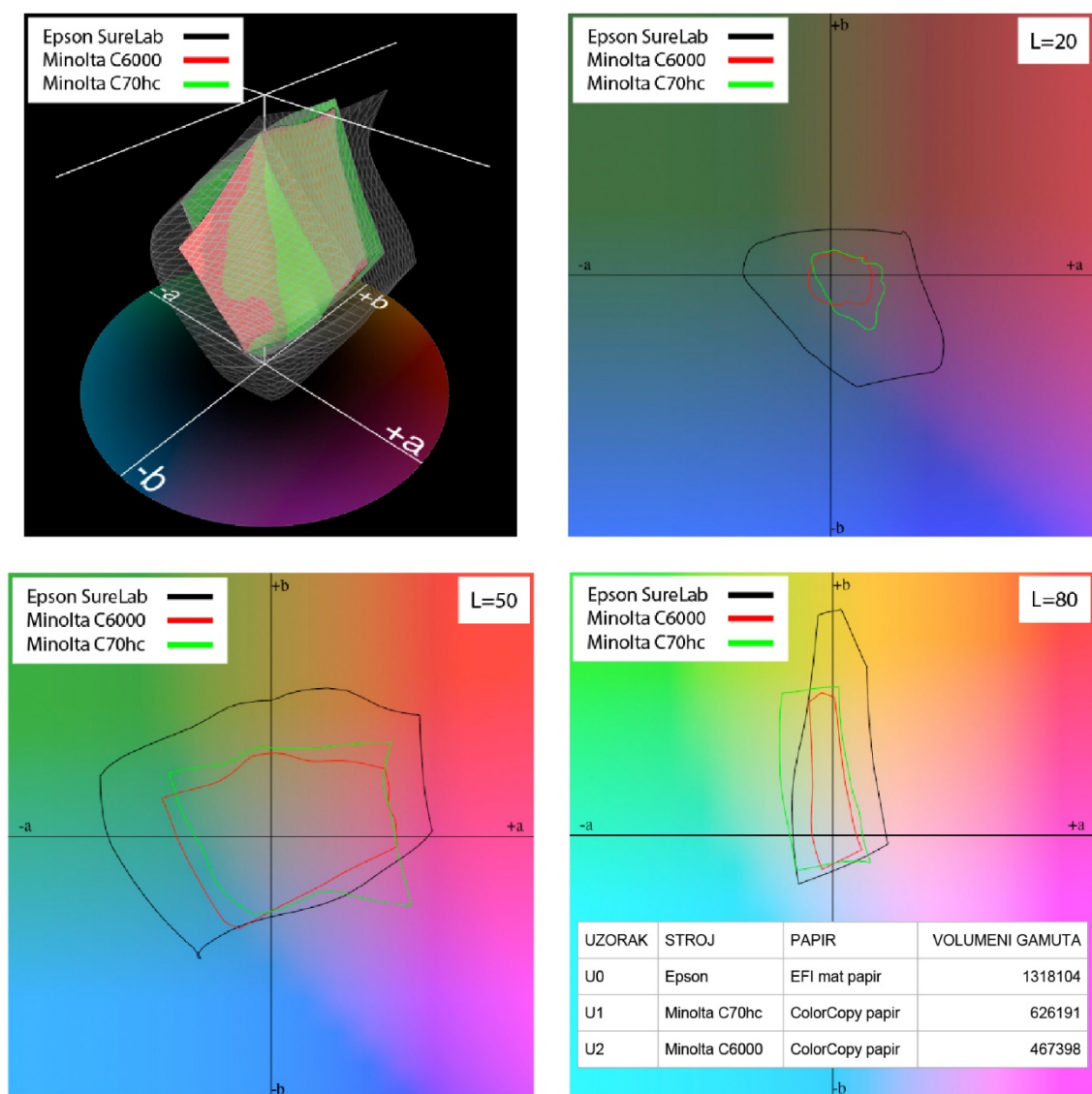
U praktičnom dijelu rada izvršena su mjerenja pomoću navedenih spektrofotometara na reprodukcijama otisnutim za potrebe rada. Obzirom da je cilj ovoga rada usporedba otisaka reproduciranih konvencionalnim i visokokromatični tonerom, na temelju mjerenja, prikazani su gamuti odnosno volumeni boja koji se postižu reprodukcijom spomenutih tonera na tri različite tiskovne podloge. Konvencionalni toner se koristio na stroju Minolta C6000 dok se visokokromatični toner koristio na stroju Minolta C70hc. Osim što su izmjereni volumeni uspoređeni međusobno, također je napravljena komparacija sa volumenom boja koji je dobiven reprodukcijom na visokokvalitetnom Ink Jet pisaču Epson SureLab D3000. Pritom je taj otisak uzet kao referenca za daljnju usporedbu u radu.

### **4.1. Usporedba gamuta**

Rezultati mjerenja gamuta prikazani su tablicama u kojima su vrijednosti volumena boja prikazani u prostornim jedincima. S druge strane gamuti su vizualizirani na 4 načina:

- 3D prikazom
- Presjekom po svjetlosnoj osi ( $L^* = 20$ ) – tamniji tonovi u gamutu
- Presjekom po svjetlosnoj osi ( $L^* = 50$ ) – tonovi srednje svjetline u gamutu
- Presjekom po svjetlosnoj osi ( $L^* = 80$ ) – svjetliji tonovi u gamutu

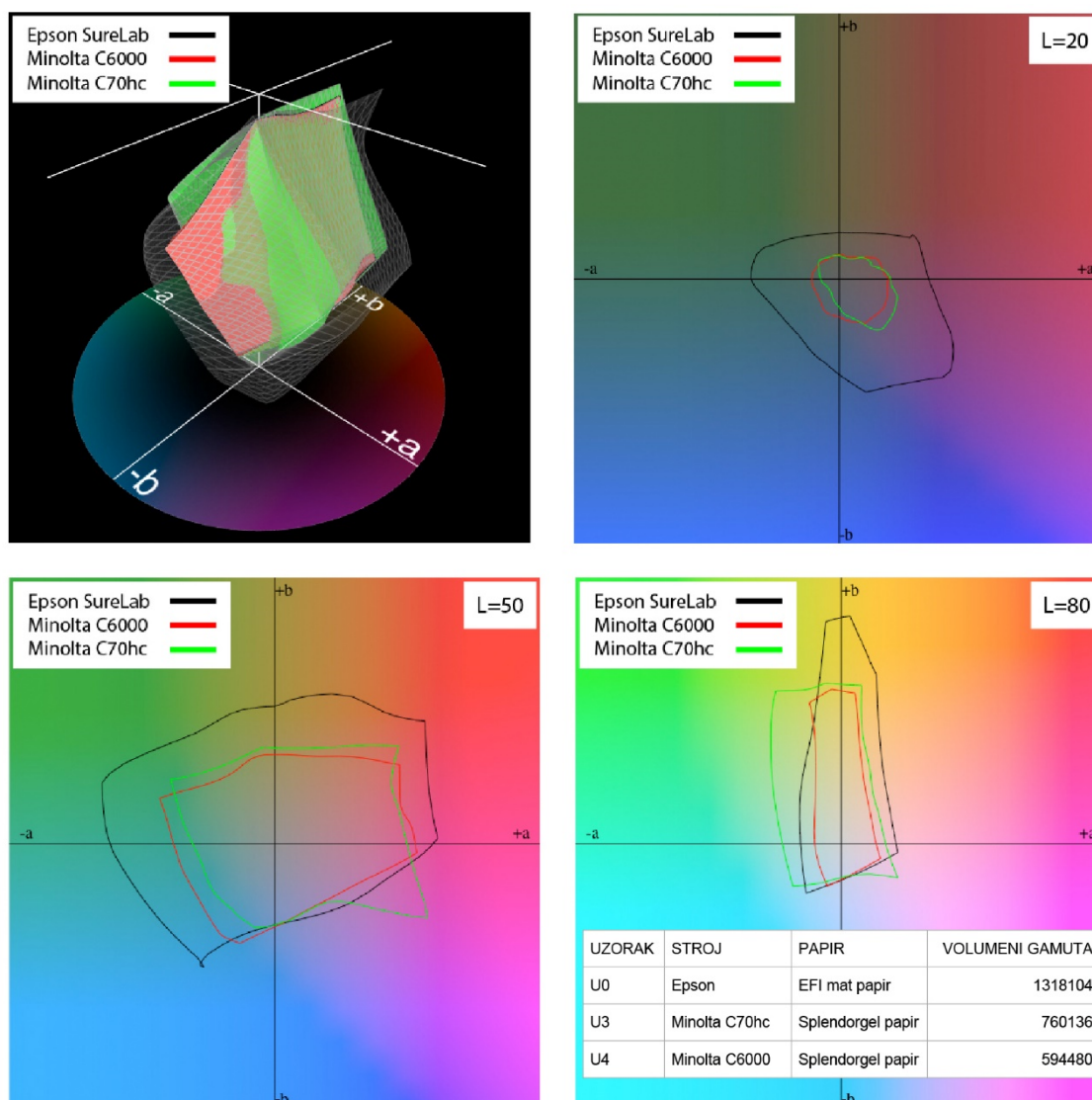




*Slika 32. Gamuti reprodukcije Minolte C70hc, Minolte C6000 na ColorCopy papiru i Epson SureLab-a na EFI mat fotopapiru*

U odnosu na referentni otisak (Ink Jet) na ColorCopy papiru, koji je niske kvalitete pomoću visokokromatičnog tonera postignut je manji gamut za  $\Delta V_{U0-U1} = 691913$  gamutnih jedinica što iznosi pad od 52.5%. Na generacijski starijem stroju (konvencionalni EA toner) pad u kvaliteti je još veći i iznosi 64.5%. Drugim riječima gamut je manji za  $\Delta V_{U0-U2} = 850806$  gamutnih jedinica.

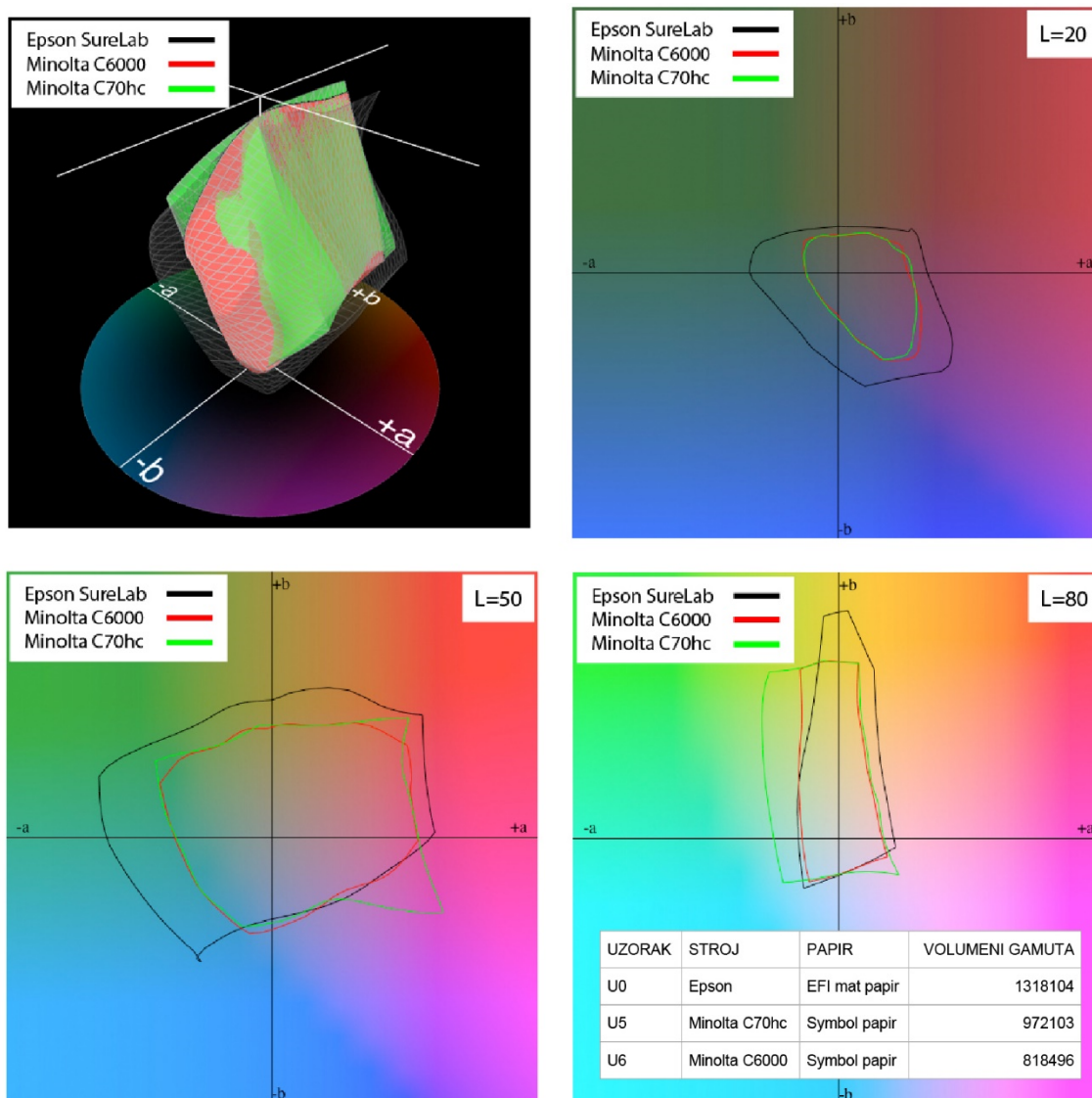
To se lijepo vidi u presjeku gamuta u tamnim tonovima ( $L = 20$ ). Pritom se kod oba Minoltina tiskarska stroja postižu znatno niže zasićenje kolornih vrijednosti od referentnog otiska Epson SureLab-om. U presjeku gamuta na pola ( $L = 50$ ) reprodukcija tonova postignuta Minoltom C70hc u području ljubičastoplave ima zamjetno zasićenije kolorne vrijednosti od Minolte C6000. One su u jednom dijelu veće i od Epson SureLab-a što može biti iskorišteno i za zaštitni tisak. Kod najsvjetlijih kromatskih tonova ( $L=80$ ) u presjeku je vidljivo da Minolta C70hc veće kolorne vrijednosti postiže i od Minolte C6000, ali i od Epson SureLab-a. Samim time žute nijanse (žuti toner) puno je čišći i nije znatno kontaminiran tijekom procesa rastriranja.



*Slika 33. Gamuti reprodukcije Minolte C70hc, Minolte C6000 na Splendorgel papiru i Epson SureLab-a na EFI mat fotopapiru*

Na Splendorgel papiru, koji je bijeljen i kalendriran, pomoću visokokromatičnog (HC) tonera postignut je gamut koji je 42.3% manji od referentnog gamuta. Drugim riječima gamut je manji za  $\Delta V_{U0-U3} = 557968$  gamutnih jedinica. U odnosu na referentni gamut konvencionalnim EA tonerom na istom papiru postignut gamut manji za 54.9% ( $\Delta V_{U0-U5} = 723624$ ). Znači i na kalendriranim papirima visoke bjeline ostvariti će se bolja reprodukcija sa HC strojevima pri čemu ta razlika u volumenu iznosi  $\Delta V_{U3-U4} = 165656$ .

Promatrajući karakterističan presjek kolornog gamuta, na sredini ( $L=50$ ) se može uočiti da reprodukcija Minoltom C70hc postiže veće kolorno zasićenje od Minolte C6000 i Epson SureLab-a u području ljubičastoplave. Presjek u području  $L=80$  vidljivo je da otisci Minoltom C70hc postižu bitno zasićenije kolorne vrijednosti u području zelene i cijana. To je direktni utjecaj novog cijan HC tonera čija je zasićenost puno veća.



*Slika 34. Gamuti reprodukcije Minolte C70hc, Minolte C6000 na Symbol papiru i Epson SureLab-a na EFI mat fotopapiru*

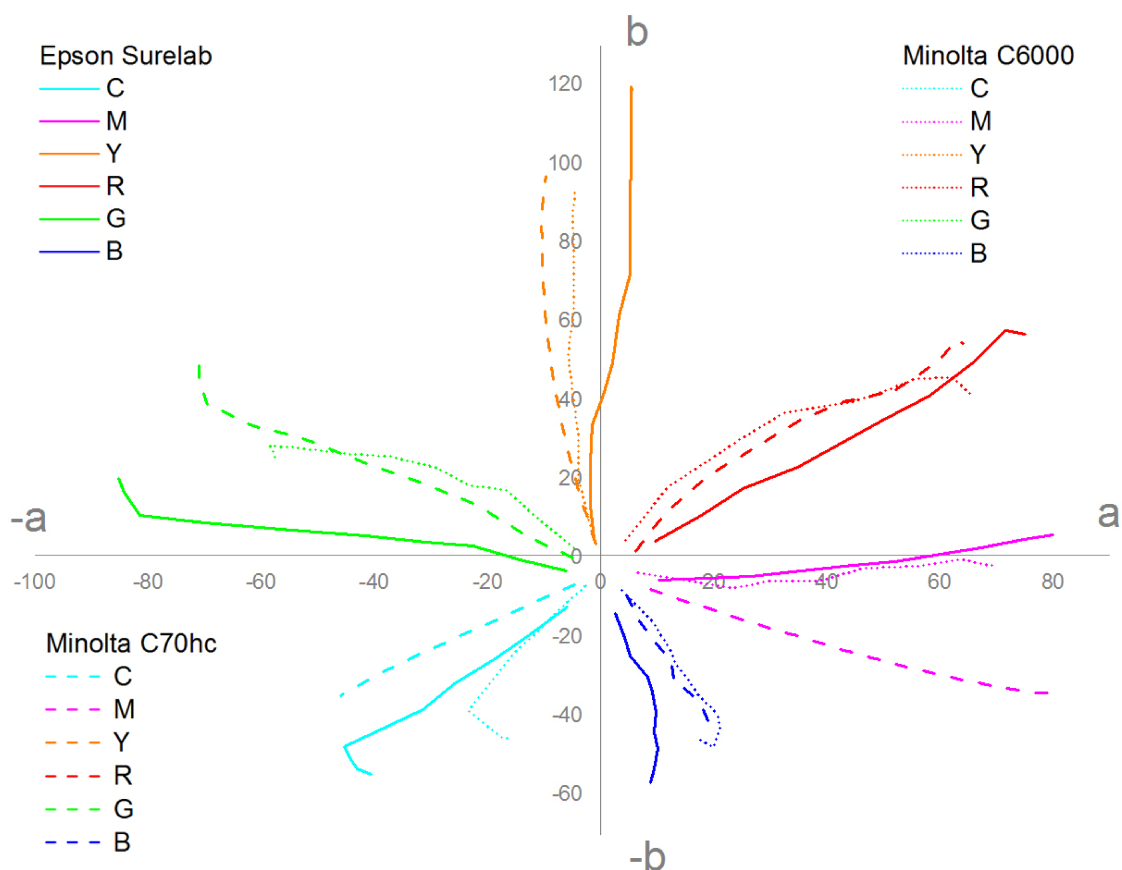
U odnosu na referentni uzorak na Symbol papiru, koji je sjajno premazani papir za umjetnički tisak, pomoću visokokromatičnog tonera (Minolta C70hc) postignut je gamut manji 26.2% od referentnog gamuta. To čini razliku od  $\Delta V_{U0-U5} = 346001$  gamutnih jedinica. U odnosu na referentni gamut konvencionalnim tonerom na istom papiru postignut je manji gamut  $\Delta V_{U0-U6} = 499608$  gamutnih jedinica, odnosno gamut manji za 37.9%.

Kao i kod ostalih ispitivanih tiskovnih podloga i ovdje je vidljivo da reprodukcija Minoltom C70hc ima vidljivo zasićenije kolorne vrijednosti od reprodukcija Minolte C6000 i Epson SureLab-a i u području ljubičastoplave. Međutim, u svim ostalim tonskim područjima ta razlika gotovo nije vidljiva. Krivulje Minolte C6000 i C70hc u potpunosti se poklapaju. Samim time korištenje HC tonera neće dati tako veliki kvalitetni benefit u odnosu na klasični EA toner.

Osim tonera na kolornu reprodukciju utječe i tiskovna podloga. Tako će se kod HC tonera najveća razlika u gamutu ostvariti između Symbol papira i ColorCopy papira ( $\Delta V_{MAX-MIN(U5-U1)} = 345912$  gamutnih jedinica) dok će kod klasičnog EA tonera ona iznositi  $\Delta V_{MAX-MIN(U6-U2)} = 351098$  gamutnih jedinica.

## 4.2. Usporedba kolorimetrijskih vrijednosti

Za precizniju analizu utjecaja različitog elektrofotografskog tonera na kolornu sliku potrebno je ispitati i kako se reproduciraju rastrirani tonovi. Pritom se misli na tonove osnovnih procesnih bojila (CMYK) kao i onih nastalih njihovim miješanjem (RGB). Na slikama 35, 36 i 37 prikazani su grafovi promjena nastala u kromatičnosti.

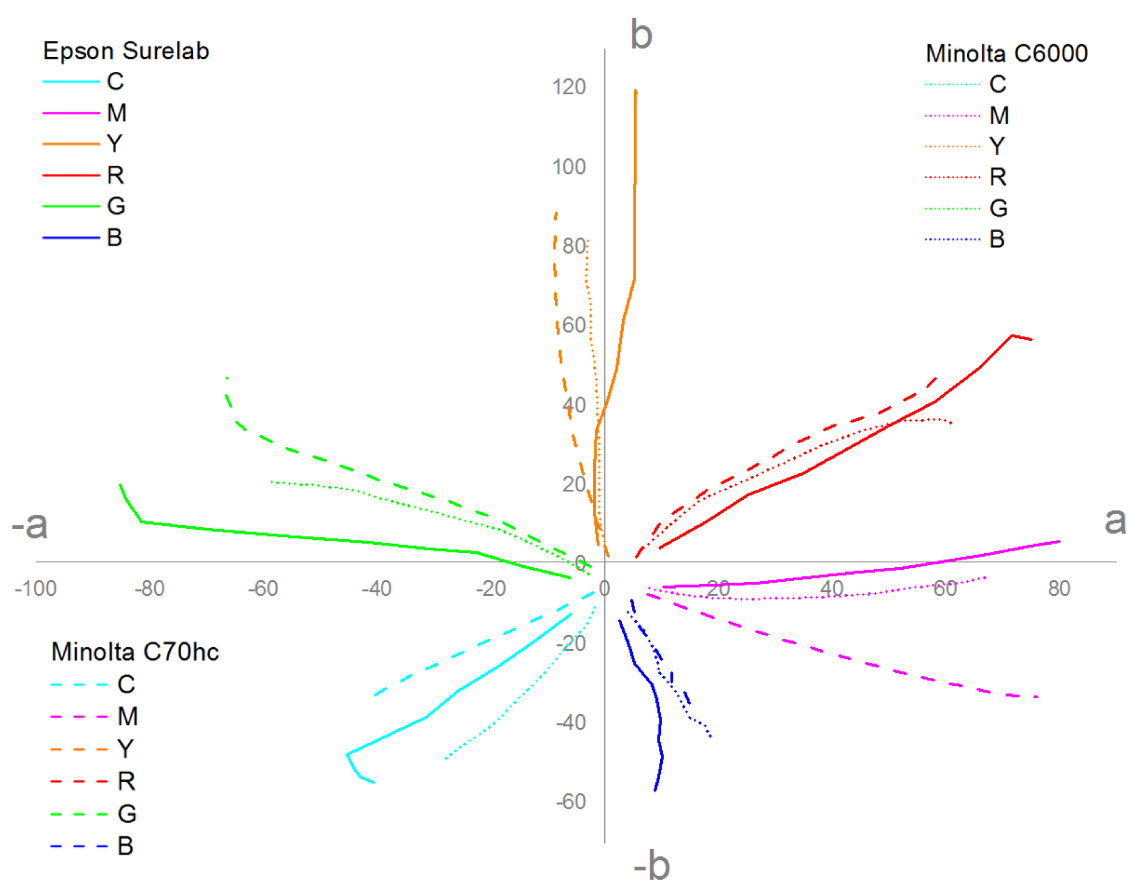


Slika 35. Graf prikazuju razlike u kromatičnosti boja na Symbol papiru u odnosu na referentni otisak (Epson SureLab)

Kod svih krivulja reprodukcije vidljivo je da su najdulje i najpravilnije linije nastale sa printerom Epson SureLab-om. Samim time takvi otisci su i najkvalitetniji te su svi rasterski tonovi očekivano reproducirani. Odstupanje prikazuje jedino cijan otisak kod kojeg su viši tonovi (90 i 100% RTV) deformirani i skreću u desno.

Primjenom najkvalitetnijeg papira (premazani papir za umjetnički tisak - Symbol) kromatske vrijednosti otiska će se povećati, samim time dolazi do ujednačenja rasterske reprodukcije te približavanje otisaka sa HC tonerom i klasičnog EA tonera. Osim toga krivulje reprodukcije približavaju se osnovnim kromatskim koordinatama.

Ipak u dva područja razlike su evidentne. To su područje magente i cijana. Pritom će između dva elektrofotografska tonera nastati razlika u kromatičnosti koja na polju od 100% RTV za cijan iznosi  $\Delta C_{(U5,U6)} = 2.6$ , a za magentu na istom polju  $\Delta C_{(U5,U6)} = 3.9$ .



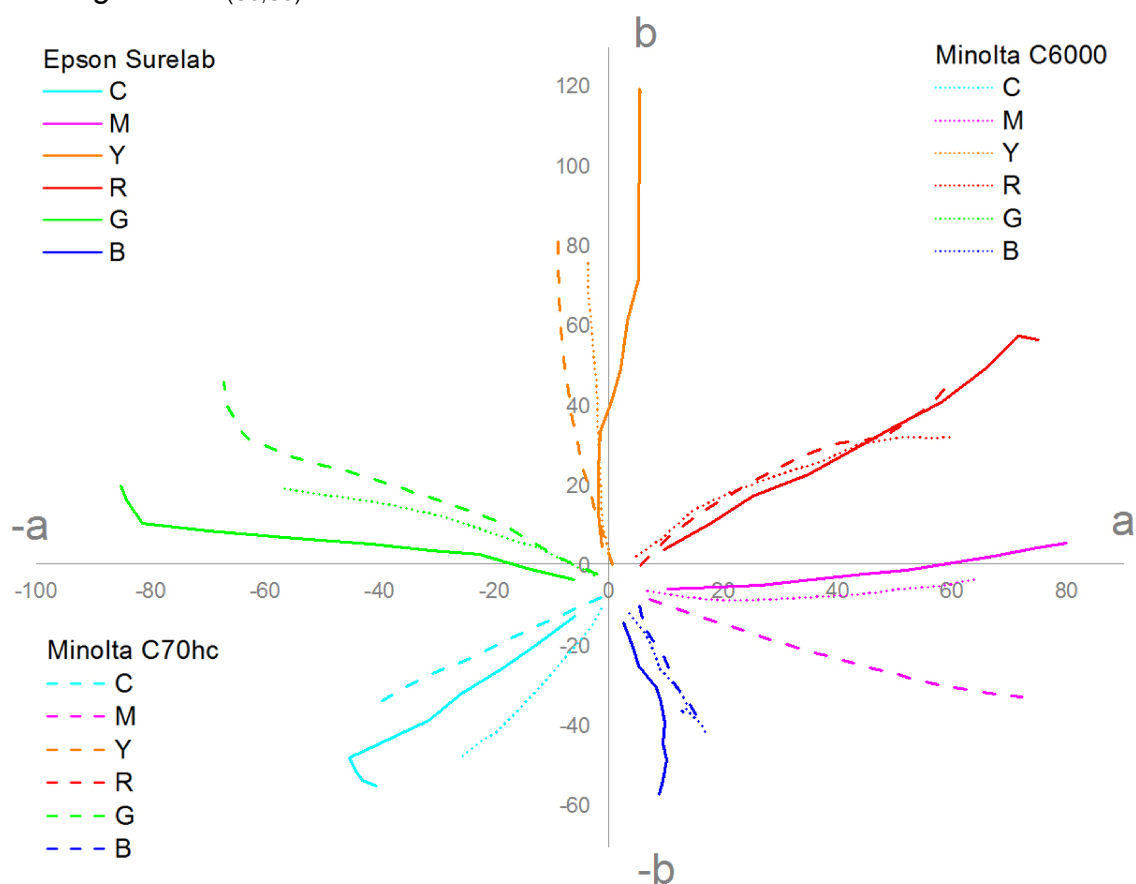
*Slika 36. Graf prikazuju razlike u kromatičnosti boja na Splendorgel papiru u odnosu na referentni otisak (Epson SureLab)*

Na Splendorgel papiru najbolji raspon obojenja ima žuta (najdulja krivulja) pri čemu otisci sa HC tonerom daju nešto zelenkastije tonove od klasičnog EA



tonera. Međutim, kod oba elektrofotografska tonera vidljiva je veća promjena u odnosu na referentni Epson SureLab printer na polju od 100% RTV (žuta boja). Pritom razlika za Minoltu C6000 iznosi  $\Delta C_{(U0,U4)} = 6.7$ , a za Minoltu C70hc je razlika  $\Delta C_{(U0,U3)} = 5.2$  (smješteni su u -a kvadrantu dok je Epson SureLab smješten u +a kvadrantu). Kod ostalih krivulja reprodukcije kretanje rastertonskih vrijednosti je slično. Samo se uočava manja razlika na Epson SureLab otiscima koji točnije prate osnovne kromatske osi, što znači čišće reproduciran ton.

U odnosu na referencu otisci otisnuti sa tonerom visoke kromatičnosti imaju puno veća tonska odstupanja. Ona su pogotovo izražena u cijan i magenta području. Ti tonovi imaju veliko skretanje što otiscima daje potpuno novu karakteristiku. Ono je pritom puno više izraženo u površinama sa većom pokrivenošću. Tako razlike u kromatičnosti na polju od 100% RTV za cijan iznose  $\Delta C_{(U0,U3)} = 3.8$ , a za magentu  $\Delta C_{(U0,U3)} = 0.6$ .

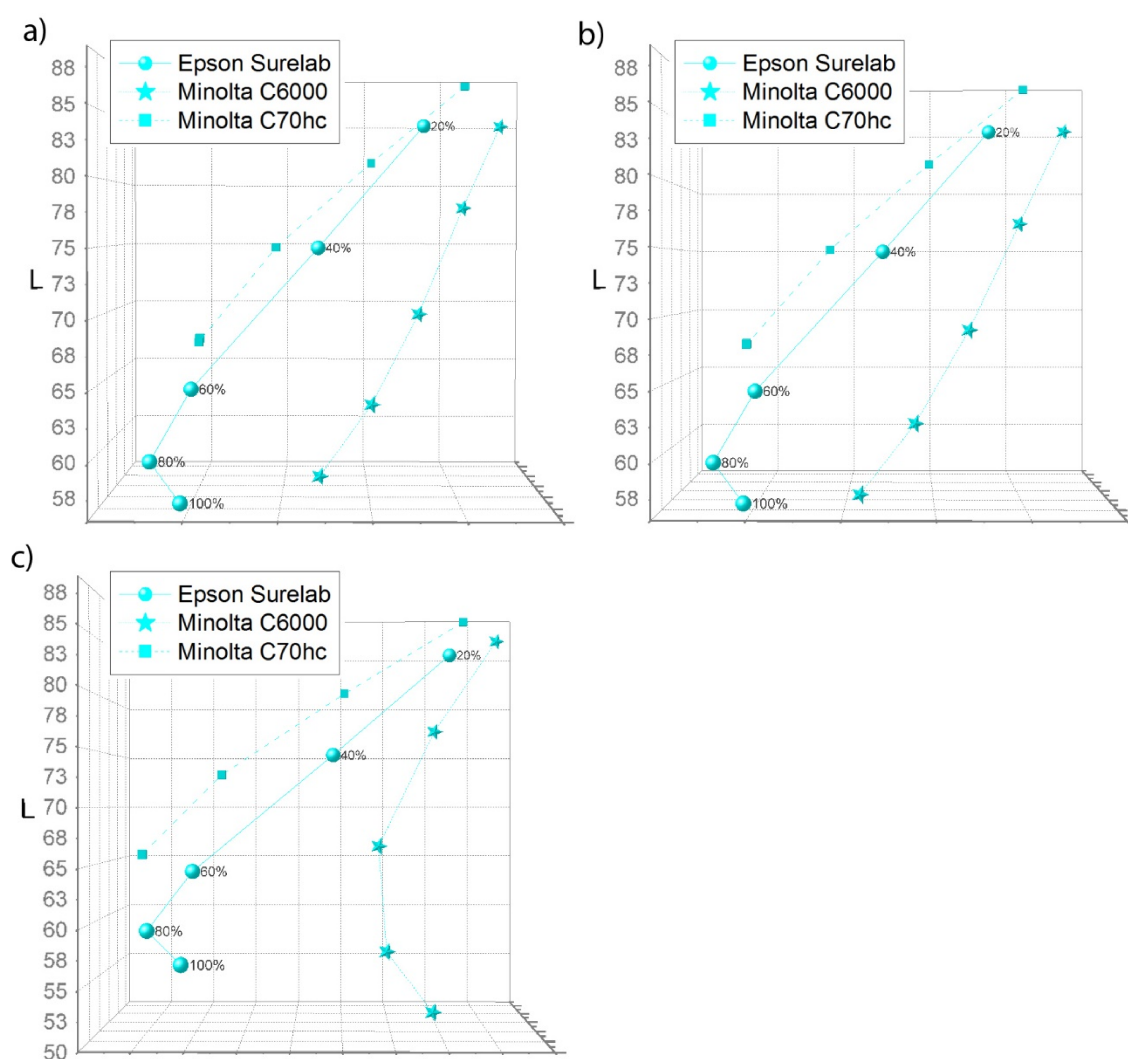


*Slika 37. Graf prikazuju razlike u kromatičnosti boja na ColorCopy papiru u odnosu na referentni otisak (Epson SureLab)*



Reprodukcije na papiru najlošije kvalitete (ColorCopy papir) ne donose značajne kromatske promjene u odnosu na Splendorgel papir. Uočljiva je promjena u žutom obojenju i bitno manje zasićenje u punijim tonovima žute. Samim time razlika u obojenju u odnosu na referentni Ink Jet otisak na punom tonu za Minoltu C6000 iznosi  $\Delta C_{(U0,U6)} = 7.7$ , a za Minoltu C70hc je razlika  $\Delta C_{(U0,U5)} = 6.5$ .

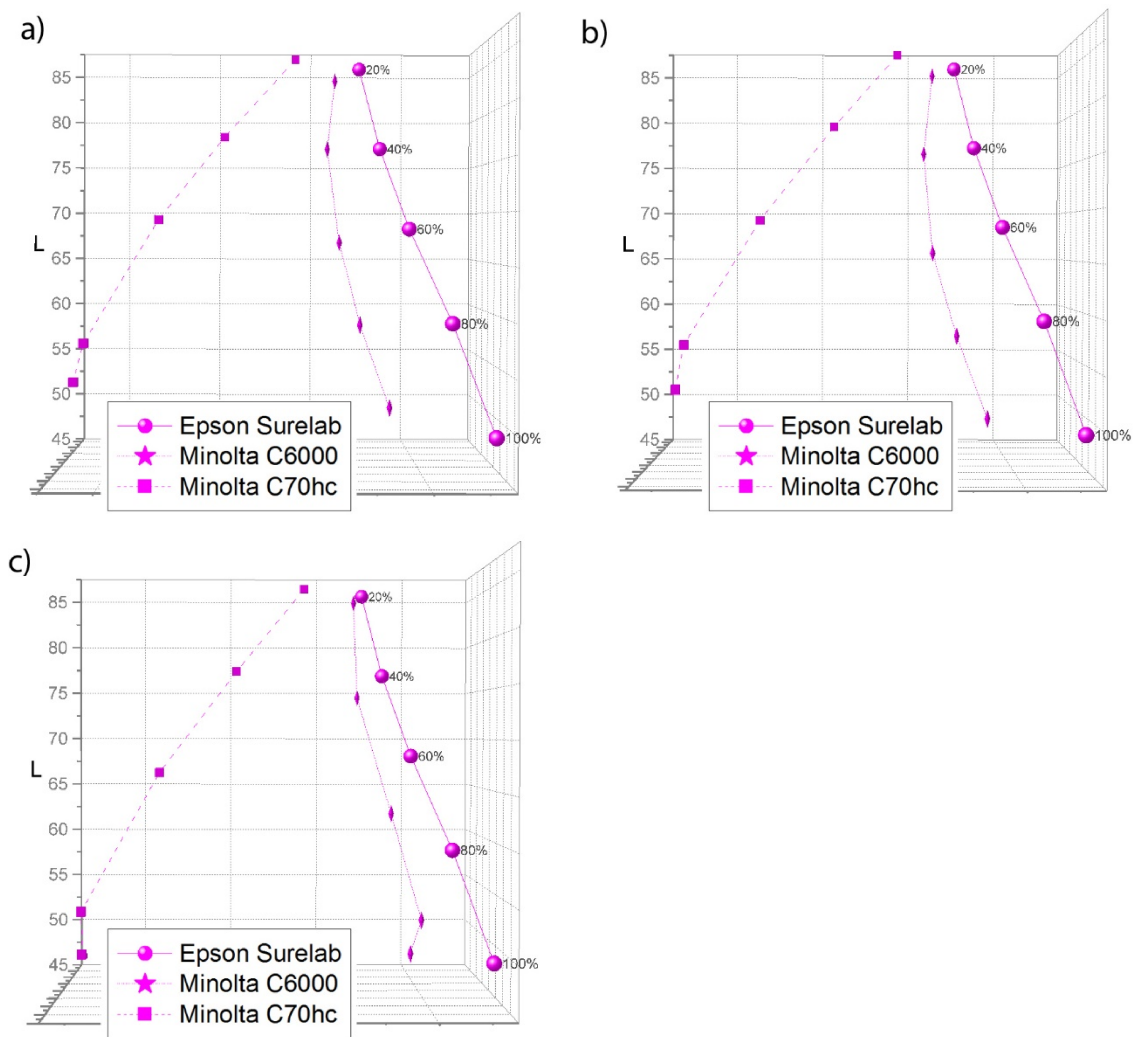
Kako su stvarne razlike između HC i EA klasičnog tonera u sastavu cijana i magente (tip primijenjenih pigmenata) detaljnija analiza svjetline otisaka izvršena je upravo u tim tonskim područjima. Na slikama 38 i 39 prikazane su devijacije u svjetlini na tri tiskovne podloge.



Slika 38. Graf prikazuje razlike u cijan boji u odnosu na referentni otisak (Epson SureLab) na sve tri tiskovne podloge: a) ColorCopy, b) Splendorgel, c) Symbol

Kod svih tiskovnih podloga vidljivo je da će se smanjenjem RTV povećavati svjetlina otisaka. Drugim riječima tiskovna podloga postaje sve dominantnija. Na visokokvalitetnom papiru (Symbol papir) reprodukcija cijana (RTV = 100%) Minoltom C70hc ima najmanju svjetlosnu komponentu  $L = 65.7$ . Puniji tonovi cijan boje visokopigmentiranog tonera na tom uzorku gotovo su iste svjetline (u rasponu od 80 do 100% RTV). Ton od 100% RTV na referentnom otisku (Epson SureLab) biti će nešto svjetliji za  $\Delta L_{(U0,U5)} = 7.7$  dok će otiskivanje Minoltom C6000 dati najsvjetliji otisak sa razlikom  $\Delta L_{(U5,U6)} = 12.1$  u odnosu na visokokromatični toner.

Cijan će se na Splendorgel papiru ponašati slično kao i na ColorCopy papiru što nam govori da su to vrlo slične tiskovne podloge. Tako će razlika u svjetlini otiska naspram referentnog otiska na polju od 100% RTV za Minoltu C6000 iznositi  $\Delta L_{(U0,U6)} = 1.2$ , a za Minoltu C70hc iznositi će  $\Delta L_{(U0,U5)} = 9.3$ .



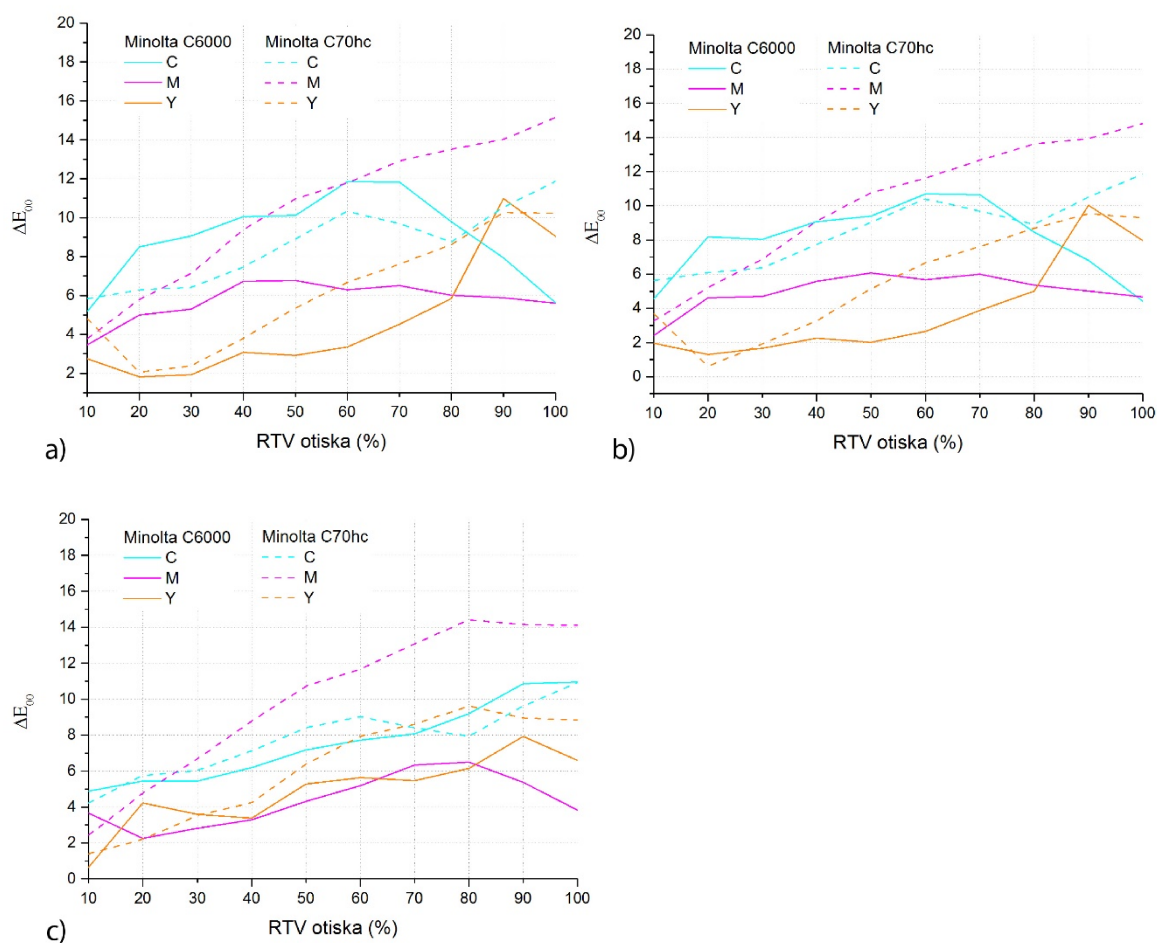
*Slika 39. Graf prikazuje razlike u magenta boji u odnosu na referentni otisak (Epson SureLab) na sve tri tiskovne podloge: a) ColorCopy, b) Splendorgel, c) Symbol*

Magentni otisak na sve tri tiskovne podloge ima mala odstupanja u svjetlini te ga karakterizira prilično linearna krivulja reprodukcije. Ujednačenost svjetline najizraženija je kod ColorCopy papira i Splendorgel papira gdje su razlike u svjetlini male.

Svjetline otiska magente na papiru za umjetnički tisak (Symbol papir) biti će najveće razlike. Tako će naspram referentnog otiska najveća razlika u svjetlini u

punom tonu kod Minolte C6000 biti  $\Delta L_{(U0,U6)} = 0.27$ , a kod Minolte C70hc će ista razlika iznositi  $\Delta L_{(U0,U5)} = 0.9$ .

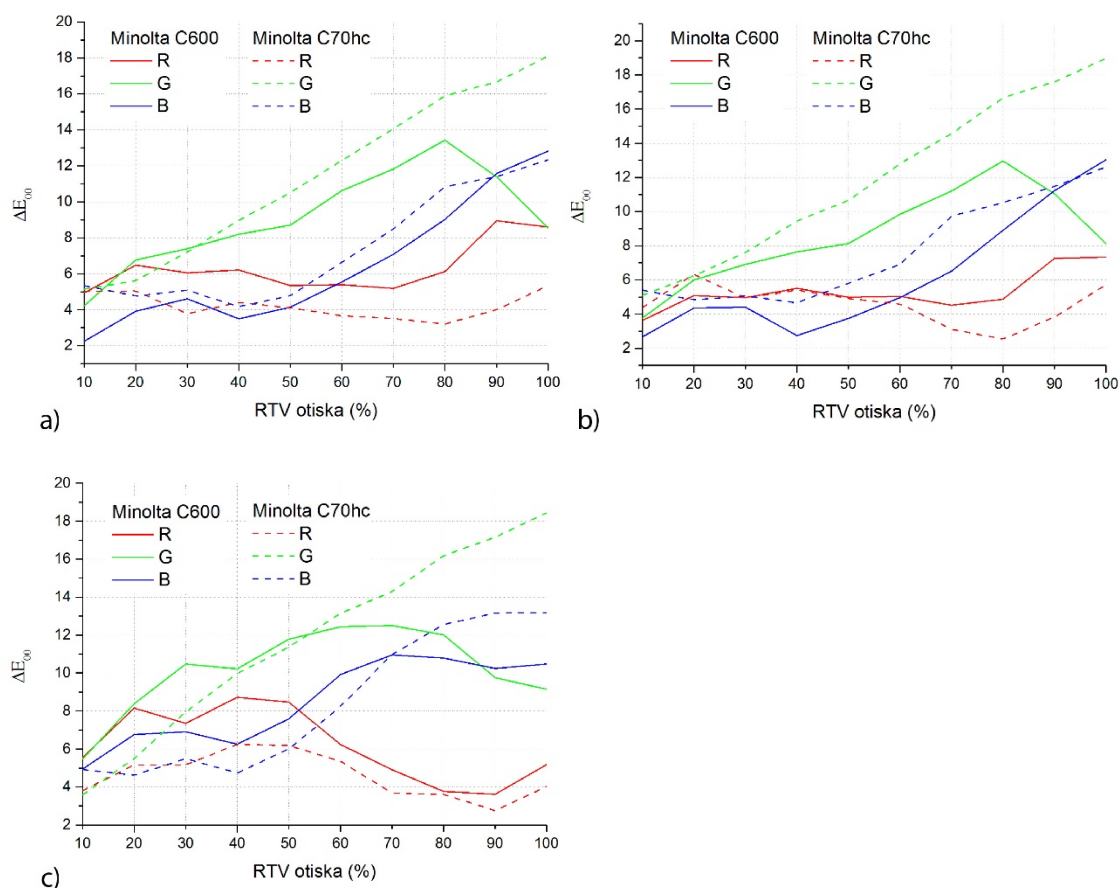
Povezivanjem devijacija po kromatičnosti C i svjetlini L dolazimo do pojma razlike u obojenju  $\Delta E$ . Pritom je za izračun razlike u obojenju korištena korigirana formula  $\Delta E_{2000}$ . Da bi se ostvarila razlika u obojenju elektrofotografski otisci direktno su komparirani sa referentnim Ink Jet otiskom. Na slikama 40 i 41 prikazane su kolorne razlike za CMYK i RGB tonove (10-100% RTV).



*Slika 40. Grafovi prikazuju razlike ( $\Delta E$ ) u bojama (CMY) u odnosu na referentni otisak (Epson SureLab) na tri tiskovne podloge: a) ColorCopy, b) Splendorgel, c) Symbol*

U odnosu na referentni uzorak otisci na Minolti C6000 ostvariti će najveće promjene u srednjim tonovima cijana gdje će maksimalno odstupanje biti na ColorCopy papiru  $\Delta E_{(U0,U2)} = 11.8$  (60% RTV). Puni tonovi cijana Minolte C6000 puno su bliži referentnim uzorcima i njihova razlika u obojenju ima minimalno odstupanje na Splendorgel papiru i iznosi  $\Delta E_{(U0,U4)} = 4.4$  (100% RTV).

Prilikom otiskivanja procesnih boja sa printerom Minolta C70hc na ColorCopy papiru vidljivo je konstantno povećanje razlike obojenja sa porastom RTV. Samim time sa većom pokrivenošću (nanosom) otisci se više mijenjaju u odnosu na referentni uzorak. Tako najveće odstupanje naspram referentnog Ink Jet-a bilježi na polju od 100% RTV, te iznosi  $\Delta E_{(U0,U1)} = 15.1$ .

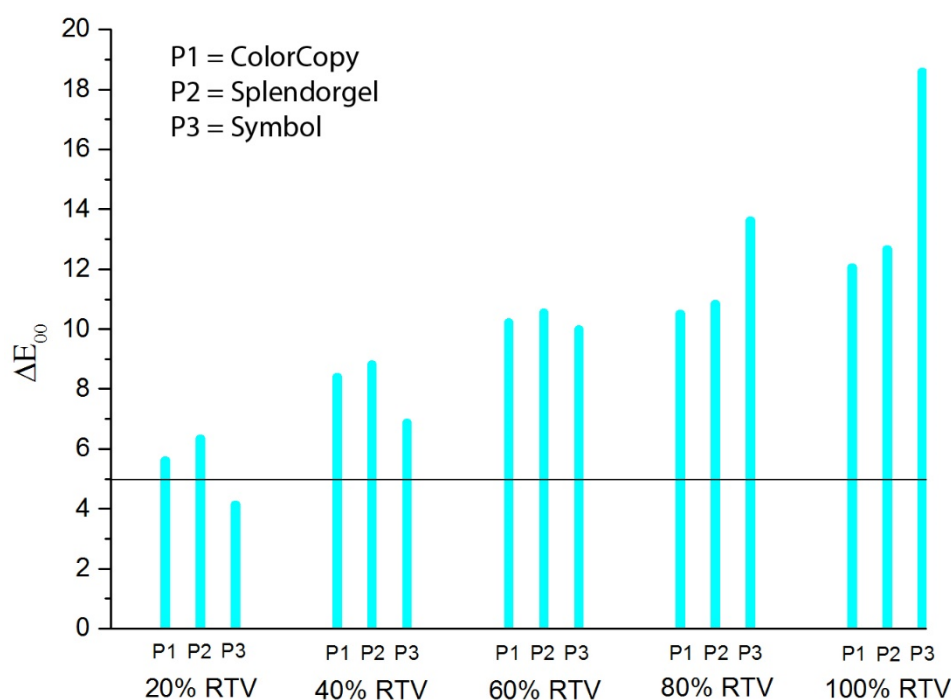


Slika 41. Grafovi prikazuju razlike ( $\Delta E$ ) u bojama (RGB) u odnosu na referentni otisak (Epson SureLab) na tri tiskovne podloge: a) ColorCopy, b) Splendorgel, c) Symbol

Odstupanja boja nastalih miješanjem (RGB) procesnih boja (CMYK) su očekivana obzirom na promjene koje su nastale na uzorcima procesnih boja. Tako najveće promjene doživljava zelena boja otisnuta strojem Minolta C780hc na sve tri tiskovne podloge. Ona svoj maksimum doseže u punom tonu na sjajnom papiru (Symbol papir)  $\Delta E_{(U0,U5)} = 18.4$ .

Crvena boja se na svim podlogama reproducirala bez velikih varijacija u odstupanju vrijednosti boje obzirom na referentni otisak Ink Jet-om. Drugim riječima od najsvjetlijeg pa do punog tona nema tendenciju da se razlika proporcionalno povećava ili smanjuje obzirom na RTV. Tako najuravnoteženiji otisak crvene boje ima Minolta C6000 na Splendorgel papiru ostvarujući pritom razliku u obojenju od  $\Delta E_{(U0,U6)} = 3.6$  do  $\Delta E_{(U0,U6)} = 7.3$ .

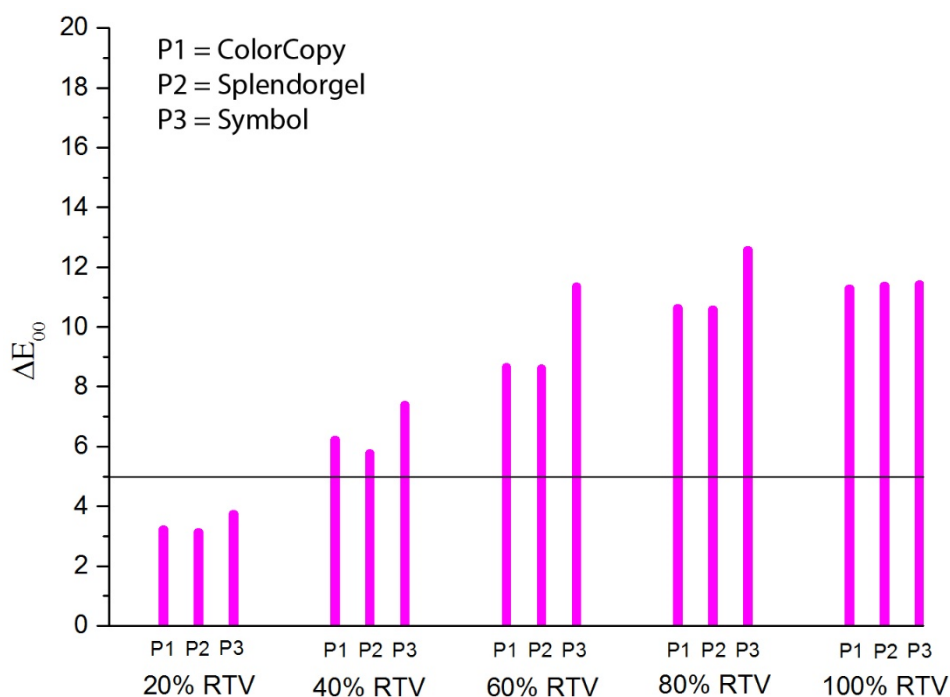
Kao što je vidljivo iz izračunatih vrijednosti razlika u obojenju, tiskovna podloga će različito utjecati na te promjene. Na slikama 42, 43 i 44 prikazana je međusobna razlika u obojenju Minoltinih tonera na grafikonima ovisnosti eksperimentalnih podloga o rastertonskim vrijednostima.



*Slika 42. Graf prikazuje razlike u cijan boji Minoltinih tonera na sve tri korištene tiskovne podloge*

Komparacijom Minoltinih cijan tonera zamijećeno je da na svim podlogama cijan obojenje varira toliko da ga možemo vidjeti i golim okom ( $\Delta E > 5$ ). Ono će najveće biti u punom tonu te će padati sa smanjenjem RTV vrijednosti.

Razlike međusobnih kolornih vrijednosti u cijan boji na papirima ColorCopy i Splendorgel su prilično ujednačene pri svim poljima jednake rastertonske vrijednosti. Međutim, u slučaju Symbol papira (kod tonova niže RTV 20% i 40%) razlika u kolornim vrijednostima je manja u odnosu na druge dvije tiskovne podloge. Pri tome će na polju od 20% RTV razlika u obojenju je najmanja (manja od 5). To nije slučaj sa ostalim podlogama i RTV. S druge strane Symbol papir na poljima veće rastertonske vrijednosti (80% i 100%) stvara najveće razlike u kolornim vrijednostima cijan boje. Tako će najveće i najmanje odstupanje biti na papiru za umjetnički tisak pri čemu najveće iznosi  $\Delta E_{(U5,U6)} = 18.5$  (100% RTV), a najmanje  $\Delta E_{(U5,U6)} = 4.1$  (20% RTV) .

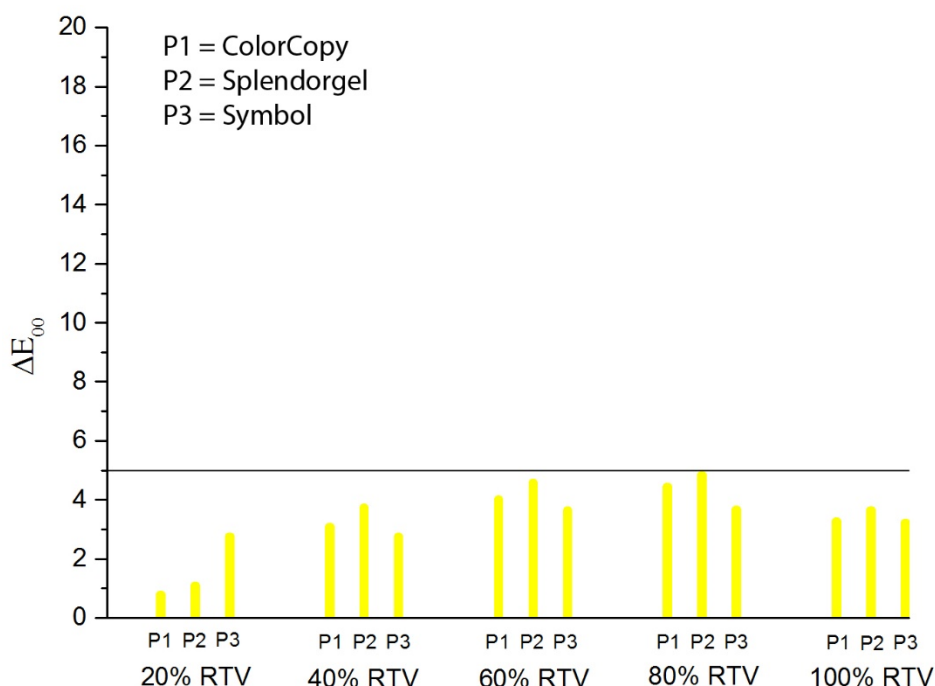


*Slika 43. Graf prikazuje razlike u magenta boji Minoltinih tonera na sve tri korištene tiskovne podloge*



Kao i u slučaju cijana međusobna razlika Minoltinih tonera u magenta boji na sve tri tiskovne podloge jasno je vidljiva. Sa porastom RTV raste i razlika obojenju, osim u slučaju punog tona. U slučaju magnetnog punog tona međusobne razlike na sve tri tiskovne podloge u magenta boji su ujednačene (od  $\Delta E_{(U1,U2)} = 11.2$  do  $\Delta E_{(U5,U6)} = 11.4$ ). Drugim riječima kod testnih otisaka pokrivenosti 100% sa magnetom podloga nije ključna. Međutim, kod srednjih i tamnih rastertonskih vrijednosti najbolji je Splendorgel papir. Tako je na tom papiru pri 20% RTV najmanja kolorna razlika  $\Delta E_{(U3,U4)} = 3.1$ .

Na poljima pokrivenosti od 60% i 80% RTV može se uočiti veća međusobna razlika Minoltinih tonera na Symbol papiru. Kod druge dvije tiskovne podloge (ColorCopy i Splendorgel) to nije slučaj te imaju ujednačeniju razliku u obojenju. Maksimalna razlika međusobnih kolornih vrijednosti magenta boje je na papiru za umjetnički tisak (Symbol papir) pri pokrivenosti od 80% RTV te iznosi  $\Delta E_{(U5,U6)} = 12.5$ .



*Slika 44. Graf prikazuje razlike u žutoj boji Minoltinih tonera na sve tri korištene tiskovne podloge*



Žuta boja na sve tri tiskovne podloge ostvaruje svoju najveću međusobnu razliku kolornih vrijednosti Minoltinih tonera u srednjim tonskim vrijednostima. Pritom kolorne promjene ne prelaze  $\Delta E = 4.8$ .

Iz toga je vidljivo da je žuti toner kod obje Minolte istog sastava te se ovakva razlika očituje se u primjeni ICC profila i postavci printera koja se može u potpunosti korigirati od strane operatera.

## 5. ZAKLJUČAK

Reprodukcija HC tonerom pruža veći kolorni gamut od klasičnog EA tonera na sve tri tiskovne podloge te će na svim podlogama dati bolju reprodukciju. Najbolja će biti na papiru za umjetnički tisak ( $V = 972103$  gamutnih jedinica).

Najveća razlike u gamutu ima HC toner te su magenta, cijan i zeleni tonovi veće svjetline pri njihovoj reprodukciji. Te razlike u reprodukciji na sve tri tiskovne podloge između HC tonera i klasičnog EA tonera iznose za ColorCopy papir:  $\Delta V_{U1-U2} = 158793$ , Splendorgel papir:  $\Delta V_{U3-U4} = 165656$ , Symbol papir:  $\Delta V_{U5-U6} = 153607$ .

Tip tiskovne podloge (premazana, ne premazana) utječe na kolornu reprodukciju pri čemu sjajni daju najbolju, a nepremazani najlošiju. Teza da će određeni papir biti bolji za HC toner, a određeni za EA klasični toner ne stoji jer se na svim tiskovnim podlogama ostvaruje vrlo slična razlika u kolornom gamutu. Međutim, ispitivanje je pokazalo da su promjene opširnije kod lošijih papira (svi tonovi se mijenjaju) dok se kod papira za umjetnički tisak promjena vidi samo u određenim tonovima (koji pripadaju u cijan, magenta i zeleno područje).

Razlike kolornih vrijednosti i razlike u svjetlini HC tonera i klasičnog EA tonera najveće su kod cijan boje. Cijan otisnut HC tonerom je tamniji od klasičnog EA tonera. Tako na sve tri tiskovne podloge razlike kolornih vrijednosti i razlike u svjetlini rastu zajedno sa povećanjem pokrivenosti rastertonskih vrijednosti.

Najveće razlike ostvaruju na papiru za umjetnički tisak i to u punom tonu cijana ( $\Delta E = 18.5$ ,  $\Delta L = 12.1$ ). Iz tog razloga cijan HC toner je nepogodan za otiskivanje svjetlijih prijelaza dok će kvalitetnu reprodukciju pružiti kod zasićenih otisaka (motivi neba, mora itd.).

Kromatska odstupanja između HC tonera i klasičnog EA tonera, na sve tri tiskovne podloge, su najveća prilikom otiskivanja magenta boje. Isto tako, kolorne razlike između dva tonera, u slučaju magente, najveće su u srednjim tonovima. Tako reprodukcija magente na papiru za umjetnički tisak ima najveće promjene i u kolornim vrijednostima i u kromatičnosti pri 80% RTV. One za razliku u

kromatičnosti iznose  $\Delta C = 4.5$ , a za kolornu razliku iznose  $\Delta E = 12.5$ . Radi ovakvog reproduciranja magenta HC toner pružiti će kvalitetnu reprodukciju gradijenata, ali i punih tonova što pogoduje zahtjevnim kolornim reprodukcijama (fotografije).

HC toner pružiti će bolju kvalitetu reprodukcije nego klasični EA toner. Međutim, kako bi se iskoristio puni potencijal HC tonera potrebno je koristiti premazani papir visoke kvalitete pritom reproducirajući grafička rješenja zasićenijeg obojenja, što se može iskoristiti i za potrebe zaštitnog tiska.

## 6. LITERURA

1. Kipphan, H. (2001.), The handbook of print media, Springer
2. Majnarić, I. (2004.), Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
3. \*\*\*[http://www.ieeeeghn.org/wiki/index.php/Inventor\\_of\\_Xerography:\\_Chester\\_F.\\_Carlson](http://www.ieeeeghn.org/wiki/index.php/Inventor_of_Xerography:_Chester_F._Carlson), 09. kolovoz, 2014.
4. Majnarić, I. (2007.), Studija indirektna elektrografije, doktorska disertacija, Grafički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu
5. \*\*\*[http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000\\_c6000/feature.html?rellink=pro\\_top](http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000_c6000/feature.html?rellink=pro_top), 09.kolovoz, 2014.
6. \*\*\*[http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000\\_c6000/pdf/bizhub\\_press\\_c7000\\_c6000.pdf](http://www.biz.konicaminolta.com/production/c7000_c6000/pdf/bizhub_press_c7000_c6000.pdf), 09. kolovoz, 2014.
7. \*\*\*<http://www.konicaminolta.com/about/research/env-technology/toner.html>, 09. kolovoz, 2014.
8. \*\*\*<http://www.konicaminolta.com/about/research/publishing/hichro.html>, 09. kolovoz, 2014.
9. Milardović-Ortolan, S. (2014.), Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine gradivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike, doktorska disertacija, Stomatološki Fakultet Sveučilišta u Zagrebu
10. Munsell, H. (2008.), A Color Notation: A measured color system, based on the three qualities Hue, Value and Chroma, Geo. H. Ellis Co. Boston
11. \*\*\*[http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf), 09. kolovoz, 2014.
12. \*\*\*<http://www.tiskarstvo.net/tiskarstvo2011/clanciWeb/Agic/DarkoAgicUsporedbaRGB.html>, 09. kolovoz, 2014.
13. \*\*\*[http://en.wikipedia.org/wiki/Lab\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space), 09. kolovoz, 2014.
14. Kleinm G. A. (2010.), Industrial Color Physics, Springer, Herrenberg, Germany